



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧ/ΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ & ΠΕΡ. ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΗΝ
ΟΡΟΣΕΙΡΑ ΤΗΣ ΟΘΡΥΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Εκπόνηση: Μαρία Μπούρχα, Δασολόγος Α.Π.Θ

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Περάκης, Καθηγητής Π.Θ

Βόλος, Ιούνιος 2013

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ / ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
Π.Μ.Σ. - ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΗΝ ΟΡΟΣΕΙΡΑ ΤΗΣ ΟΘΡΥΟΣ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Συμβουλευτική Επιτροπή: Περάκης Κ., Καθηγητής (Επιβλέπων)
Χριστοπούλου Ο., Καθηγήτρια (Μέλος)
Λασπίδου Χ, Επίκουρη Καθηγήτρια (Μέλος)

Εισηγήτρια: Μαρία Μπούρχα

ΒΟΛΟΣ
Ιούνιος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκτίμηση της παραγωγικότητας ενός δασικού οικοσυστήματος, αποτελεί σημαντική παράμετρο για την αξιολόγηση της λειτουργίας και της δομής του. Τέτοιου είδους εκτιμήσεις είναι δύσκολο να παραχθούν χωρίς τη χρήση υψηλής ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων και ενέχουν μεγάλο κόστος. Αυτή η μελέτη γεφυρώνει την εφαρμογή των τεχνικών της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης με τις συνήθεις πρακτικές διαχείρισης των δασών, στην οροσειρά της Όθρυς.

Μέσω των μεθόδων της στατιστικής ανάλυσης, συνδυάστηκαν τα δεδομένα βιομάζας και οι φασματικές τους αποκρίσεις, για την κατασκευή εμπειρικών μοντέλων εκτίμησης βιομάζας και ελέγχθησαν τα επίπεδα εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων τους. Η συνολική εφαρμογή καταδεικνύει ισχυρή, γραμμική συσχέτιση μεταξύ των παραπάνω μεταβλητών και ορίζει το δασικό είδος ως ένα ισχυρό περιοριστικό παράγοντα, για την εφαρμογή αντίστοιχων εμπειρικών μοντέλων.

Τα αποτελέσματα ανέδειξαν την δυνατότητα των φασματικών δεδομένων, να εκτιμούν με ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας τα επίπεδα παραγωγικότητας ενός δασικού οικοσυστήματος και την αναγκαιότητα συνδυασμού των κλασικών μοντέλων εκτίμησης της παραγωγικότητας με τις νέες τεχνολογίες.

Λέξεις κλειδιά

Τηλεπισκόπηση, Βιομάζα, NDVI, GSP, Όθρυς

ABSTRACT

The estimation of the productivity of a forest ecosystem, is an important parameter for evaluating its function and structure. Such estimates are difficult to produce without the use of high resolution satellite data and entail great expense. This study bridges the application of the technical methods of Remote Sensing Science with the classical forest management practices, on the mountain of Othris.

Through the methods of statistical analysis, originally, the data of biomass were combined with their spectral responses for the construction of empirical models to assess biomass and afterwards, the confidence levels of the results were tested. The overall implementation demonstrates strong linear correlation between these variables and sets the forest species as a strong limiting factor for the corresponding application of empirical models.

The results highlighted the potential of spectral data to estimate with satisfactory precision the productivity levels of a forest ecosystem and the need to combine the classical models with new technologies to assess productivity.

Key words

Remote Sensing, Biomass, NDVI, GIS, Othris

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος" του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Περάκη Κωνσταντίνο καθώς και τον Λέκτορα κ. Φαρασλή Ιωάννη για την πολύτιμη καθοδήγηση και στήριξη τους καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Καθηγήτρια κα Όλγα Χριστοπούλου και την Επίκουρη Καθηγήτρια κα Χρυσή Λασπίδου που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ιδιώτη Δασολόγο κ. Γιαννούχο Κωνσταντίνο και τον κ. Γκιτσάκη Νικόλαο, μέλος του εργαστηρίου του τμήματος Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης για το σύνολο των συμβουλών τους, για την ορθή προσέγγιση και ολοκλήρωση του σκοπού της παρούσας διπλωματικής.

Τέλος, θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους όσους με στήριξαν οπλίζοντάς με υπομονή και επιμονή για να ολοκληρώσω τις σπουδές μου. Καθώς επίσης τους φίλους και συμφοιτητές Ιωάννα, Μαρία και Αλέξανδρο για τη συμπαράσταση στο ευχάριστο ταξίδι για την γνώση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... | iii |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ..... | iv |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ..... | vi |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ..... | vii |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ..... | viii |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ..... | ix |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ..... | x |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| 1. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 4 |
| 1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ..... | 4 |
| 1.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ..... | 6 |
| 1.2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ..... | 6 |
| 1.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ..... | 8 |
| 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ..... | 10 |
| 2.1 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ..... | 10 |
| 2.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ - ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ..... | 14 |
| 2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ..... | 18 |
| 2.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ..... | 19 |
| 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ..... | 24 |
| 3.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 24 |
| 3.1.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ..... | 24 |
| 3.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ..... | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.1 | ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ | 40 |
| 3.2.2 | ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ | 43 |
| 3.2.3 | ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ..... | 51 |
| 3.3 | ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ..... | 56 |
| 3.4 | ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ..... | 71 |
| 4. | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 73 |
| 4.1 | ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΕΛΑΤΗΣ | 73 |
| 4.2 | ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΔΡΥΟΣ..... | 74 |
| 4.3 | ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΔΕΙΦΥΛΛΩΝ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ..... | 75 |
| 4.4 | ΟΡΟΣΕΙΡΑ ΟΘΡΥΣ | 77 |
| 5. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ | 79 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | 82 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 86 |
| | A. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 86 |
| | B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 87 |
| | C. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ..... | 90 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Ελάτης..... | 35 |
| Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Δρυός..... | 36 |
| Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλων..... | 37 |
| Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ενισχυμένου θεματικού χαρτογράφου (πηγή: NASA, 2013)..... | 39 |
| Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)..... | 45 |
| Πίνακας 6: Πίνακας ακρίβειας διαδικασίας Ταξινόμησης..... | 48 |
| Πίνακας 7: Δείκτες βλάστησης (πηγή: Silleos et al, 2006)..... | 52 |
| Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας ζευγών δείκτη NDVI - Βιομάζας..... | 58 |
| Πίνακας 9: Συνολικός πίνακας αξιολόγησης μοντέλου Ελάτης..... | 61 |
| Πίνακας 10: Πίνακας ANOVA διαχειριστικής κλάσης Ελάτης..... | 62 |
| Πίνακας 11: Στατιστικοί έλεγχοι των συντελεστών του μοντέλου Ελάτης..... | 63 |
| Πίνακας 12: Συνολικός πίνακας αξιολόγησης μοντέλου Δρυός..... | 65 |
| Πίνακας 13: Πίνακας ANOVA διαχειριστικής κλάσης Δρυός..... | 65 |
| Πίνακας 14: Στατιστικοί έλεγχοι των συντελεστών του μοντέλου Δρυός..... | 66 |
| Πίνακας 15: Συνολικός πίνακας αξιολόγησης μοντέλου Α. Πλατύφυλλων..... | 67 |
| Πίνακας 16: Πίνακας ANOVA διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλων..... | 68 |
| Πίνακας 17: Στατιστικοί έλεγχοι συντελεστών μοντέλου Α. Πλατύφυλλων..... | 68 |
| Πίνακας 18: Συγκεντρωτικός πίνακας ελέγχου συσχέτισης μεταβλητών στο γενικό μοντέλο εκτίμησης..... | 69 |
| Πίνακας 19: Συγκεντρωτικός πίνακας ελέγχου απόκλισης μοντέλων παλινδρόμησης..... | 71 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Διάγραμμα 1: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας Διαχειριστικής κλάσης Ελάτης.... | 61 |
| Διάγραμμα 2: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Δρυός..... | 64 |
| Διάγραμμα 3: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλων..... | 67 |
| Διάγραμμα 4: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας..... | 69 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1: Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων (πηγή: www.wikipedia.org , 2013, Β)..... | 7 |
| Εικόνα 2: Άνθρωπο - Περιβαλλοντικό σύστημα (πηγή: Ιδία επεξεργασία) | 11 |
| Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής εργασιών μεθοδολογίας (πηγή: Ιδία επεξεργασία) | 19 |
| Εικόνα 4: Οροσειρά Όθρυς (πηγή: USGS, 2013) | 20 |
| Εικόνα 5: Φυτοκοινωνικός χάρτης Ελλάδος κατά Ντάφη (πηγή: Αθανασιάδης, 1985)..... | 22 |
| Εικόνα 6: Λήψη συντεταγμένων δοκιμαστικής επιφάνειας με τη χρήση GPS χειρός..... | 27 |
| Εικόνα 7: Σηθιαία διάμετρος (πηγή: Εργαστήριο Δενδρομετρίας, τμήμα Δασοπονίας και διαχείρισης φυσικού περιβάλλοντος, Δράμα, 2013)..... | 28 |
| Εικόνα 8: Παχymέτρηση ιστάμενων δένδρων (πηγή: Ιδία φωτογράφιση) | 29 |
| Εικόνα 9: Δοκιμαστικές επιφάνειες διαχειριστικής κλάσης Δρυός μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ιδία επεξεργασία) | 32 |
| Εικόνα 10: Δοκιμαστικές επιφάνειες διαχειριστικής κλάσης Ελάτης μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ιδία επεξεργασία) | 33 |
| Εικόνα 11: Δοκιμαστικές επιφάνειες διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλων μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ιδία επεξεργασία)..... | 34 |
| Εικόνα 12: Κατανομή δοκιμαστικών επιφανειών στην επιφάνεια της οροσειράς Όθρυς μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ιδία επεξεργασία)..... | 35 |
| Εικόνα 13: Δορυφόρος LandSat 7 (πηγή: Τμήμα Γεωγραφίας του UCSB, 2013) | 39 |
| Εικόνα 14: Δορυφορική εικόνα περιφερειακών ενοτήτων Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας (πηγή: USGS, 2011)..... | 40 |
| Εικόνα 15: Ψηφιακές εικόνες των 7 φασματικών καναλιών του δορυφόρου LandSat 7 (πηγή: USGS, 2011) | 41 |
| Εικόνα 16: Πανχρωματική δορυφορική εικόνα της οροσειράς Όθρυς (πηγή: USGS, 2011) | 42 |
| Εικόνα 17: Φασματικές υπογραφές μορφών εδαφοκάλυψης (πηγή: Ιδία επεξεργασία) | 50 |
| Εικόνα 18: Διάγραμμα ροής εργασιών για την εκτίμηση της βιομάζας (πηγή: Ιδία επεξεργασία) | 57 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Χάρτης 1: Κυριότερες μορφές εδαφοκάλυψης της ευρύτερης περιοχής της Δ. Ε. Αλμυρού (πηγή: Ιδία επεξεργασία)..... | 44 |
| Χάρτης 2: Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της ευρύτερης περιοχής της ορ. Όθρυς..... | 47 |
| Χάρτης 3: Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI σε κλίμακα του χρώματος γκρι | 55 |
| Χάρτης 4: Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI..... | 55 |
| Χάρτης 5: Βιομάζα διαχειριστικής κλάσης Ελάτης..... | 73 |
| Χάρτης 6: Βιομάζα διαχειριστικής κλάσης Δρυός..... | 74 |
| Χάρτης 7: Βιομάζα διαχειριστικής κλάσης Αείφυλλων Πλατύφυλλων | 75 |
| Χάρτης 8: Συνολική βιομάζα της οροσειράς Όθρυς..... | 77 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

| | |
|--------|--|
| ΓΣΠ | Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών |
| ΓΕΩΤΕΕ | Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος |
| ΗΠΑ | Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής |
| κ.μ. | Κυβικά μέτρα |
| GPS | Global Positioning System |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δάση καλύπτουν το 30% της επιφάνειας του εδάφους της γης και αποτελούν έναν φυσικό πόρο που στηρίζει την ύπαρξη και την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους από την αρχή της δημιουργίας του. Η μεγάλη οικονομική, περιβαλλοντική, πολιτιστική σημασία των δασών καθίσταται κατανοητή μέσα από την κατανάλωση των προϊόντων και των υπηρεσιών που προσφέρει καθώς και από την επιρροή που ασκεί άμεσα ή έμμεσα στην ζωή των ανθρώπων. Τα δάση ρυθμίζουν το παγκόσμιο κλίμα, επηρεάζουν τον κύκλο του άνθρακα, του νερού και των θρεπτικών στοιχείων, εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστατεύουν το έδαφος από τη διάβρωση, βελτιώνουν τα επίπεδα παραγωγικότητας του, ρυθμίζουν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας, δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), παράγουν το πολύτιμο οξυγόνο (O₂), αποτελούν τεράστιες δεξαμενές άνθρακα κ.α.

Η σπουδαιότητα των δασών, τόσο από οικονομική όσο και από περιβαλλοντική άποψη, έκανε επιτακτική την ανάγκη θέσπισης κανόνων, νόμων και οδηγιών για την προστασία του δάσους με ταυτόχρονη στροφή στην αειφορική διαχείριση. Στη χώρα μας, τα δάση και οι δασικές εκτάσεις προστατεύονται από μια σειρά νόμων και προεδρικών διαταγμάτων, που στο σύνολο τους εναρμονίζουν σε μια οικοσυστηματική διαχείριση, την αειφορική συγκομιδή του ξύλου και την διατήρηση υγείων οικοσυστημάτων (Ν. 3208/2003, Ν. 1650/1986, Π.Δ. 17/2003).

Θεμελιώδης προϋπόθεση για μια αειφορική διαχείριση, αποτελεί η καταγραφή και η εκτίμηση των δασικών κεφαλαίων σε όλη την επικράτεια της χώρας. Η συγκεκριμένη ενέργεια είναι δυνατή με την εκπόνηση δασοπονικών μελετών, όπως προβλέπει ο Δασικός Κώδικας (Ν.Δ. 86/69), που καταγράφουν και εκτιμούν το σύνολο του ξυλώδους κεφαλαίου των δασικών οικοσυστημάτων.

Με τον όρο ξυλώδες κεφάλαιο, ορίζεται το τμήμα της βιομάζας ενός δασικού οικοσυστήματος, που προέρχεται από το σύνολο της βλάστησης του ανωρόφου, με στηθαία διάμετρο άνω των 10 εκ (Γεωτ.Ε.Ε., 2009). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας η συγκεκριμένη έννοια θα αντιστοιχεί στον όρο βιομάζα.

Η εκτίμηση της βιομάζας, αποτελεί μια δύσκολη και δαπανηρή εργασία που απαιτεί τη διάθεση μεγάλου αριθμού εξειδικευμένου προσωπικού. Οι μέθοδοι που

χρησιμοποιούνται σήμερα για την εκπόνηση μιας τέτοιας διεργασίας, είναι πολυάριθμες και αναλύονται εκτενώς σε επόμενη ενότητα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι αφενός η εκτίμηση του παραγωγικού δυναμικού των δασικών οικοσυστημάτων και αφετέρου η προσέγγιση του εν λόγω στόχου μέσω χρήσης ενός μοντέλου που συνδυάζει την εφαρμογή νέων τεχνολογιών με κλασικά μοντέλα εκτίμησης της φυτικής παραγωγικότητας. Η συνολική έρευνα εκπονείται στη οροσειρά της Όθρυος.

Έναυσμα για την παρούσα έρευνα αποτέλεσε η ανάγκη για συνεχή ροή περιβαλλοντικών πληροφοριών που αφορούν τα δασικά οικοσυστήματα, που δυστυχώς σήμερα κυρίως λόγω οικονομικών συνθηκών δεν είναι διαθέσιμες, είναι ελλιπείς ή απαρχειωμένες. Καθώς επίσης η πεποίθηση πως είναι δυνατός ο εκσυγχρονισμός των κλασικών μοντέλων εκτίμησης της δασικής παραγωγικότητας, μέσω εφαρμογής νέων τεχνολογιών με σκοπό την αειφορική διαχείριση και συνεχή προστασία του δάσους.

Η έρευνα διαρθρώνεται σε 2 κύρια μέρη. Αρχικά, στην εφαρμογή των κλασικών μοντέλων εκτίμησης της δασικής παραγωγικότητας, έτσι όπως περιγράφονται στις προδιαγραφές εκπόνησης δασοκομικών μελετών από το Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος και στην εφαρμογή μεθόδων της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης για την μελέτη της φυτικής βιομάζας μέσω δεικτών βλάστησης.

Ειδικότερα, η πρώτη ενότητα, περιλαμβάνει μια ανασκόπηση των τεχνικών επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων, ενώ περιγράφεται και η συμβολή τους σε ένα εκτεταμένο πλήθος επιστημών.

Η δεύτερη ενότητα, περικλείει μια αποτίμηση των κλασικών μεθόδων που εφαρμόζονται σήμερα για την συστηματική ογκομέτρηση των δασικών οικοσυστημάτων και τη συμβολή των νέων τεχνολογικών εφαρμογών στη μελέτη των φυσικών οικοσυστημάτων, όπως η Τηλεπισκοπική θεώρηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Παρουσιάζεται επίσης ένα πλήθος εφαρμογών συνδυασμού φασματικών δεδομένων με επίγειες μετρήσεις, σε διαφορετικά περιβάλλοντα, φυσικά ή τεχνητά, με έντονη ορειογραφική διαμόρφωση ή όχι, σε δάση με κωνοφόρα ή πλατύφυλλη βλάστηση, στον Ελλαδικό χώρο και σε χώρες του εξωτερικού. Η εφαρμογή τους αποτέλεσε έναυσμα για την παρούσα έρευνα. Επιπροσθέτως, γίνεται αδρομερή παρουσίαση της παρούσης μεθοδολογικής προσέγγισης και των σταδίων που

συμβάλουν στην μελέτη του φαινομένου της βιομάζας καθώς και η αναγνώριση της ιδιόμορφης φύσης μίας τόσο εκτενής περιοχής μελέτης όπως η οροσειρά της Όθρυος.

Η τρίτη ενότητα περιλαμβάνει εξολοκλήρου την εφαρμογή του μοντέλου ζεύξεως εξ' αποστάσεως μετρήσεων με κλασικά μοντέλα εκτίμησης φυτικής μάζας, όπως έχει περιγραφεί. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων και στη κατάλληλη επεξεργασία τους, ώστε να είναι εφικτή η απόσπαση συγκεκριμένων πληροφοριών, κατάλληλων για μια ολιστική διαχείριση. Επιπροσθέτως, ακολουθεί έλεγχος των επιπέδων εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων των εκτιμήσεων του μοντέλου.

Στην τέταρτη ενότητα, παρατίθενται τα αποτελέσματα της εν λόγω εφαρμογής δίνοντας έμφαση στην ποσοτικοποίηση της βιομάζας και στις χωρικές της διαστάσεις.

Τέλος, απαριθμούνται οι δυνατότητες αλλά και οι αδυναμίες του μοντέλου πρόβλεψης βιομάζας, καθώς επίσης και οι προτάσεις βελτίωσης του για ανάλογη εφαρμογή σε ανομοιογενή περιβάλλοντα.

1. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δασικά συμπλέγματα αποτελούν τμήμα των φυσικών οικοσυστημάτων που λόγω της λειτουργίας τους και της επιρροής τους στη καθημερινότητα των ανθρώπων, υπάγονται σε ένα ιδιάζων καθεστώς προστασίας και διαχείρισης. Αποτελούν δυναμικά συστήματα και όχι στατικά, γεγονός που επιβάλλει το συνεχή έλεγχο των παραμέτρων που τα επηρεάζουν και τα μεταβάλλουν.

Ο μεγάλος αριθμός των παραπάνω παραμέτρων δυσχεραίνει το έργο των διαχειριστών και προσδίδει μεγάλο κόστος στη συνολική προσπάθεια για μια ορθή οικοσυστηματική διαχείριση. Το γεγονός αυτό, επιβάλλει τη χρήση κατάλληλων συστημάτων που θα παρέχουν συνεχείς και αξιόπιστες πληροφορίες για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης και υποστήριξης αποφάσεων σχετικά με τα δυναμικά αυτά φυσικά συστήματα.

Τη δυνατότητα αυτή, παρέχουν εφαρμογές όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Π.Σ.) και η Τηλεπισκόπηση. Μέσω των αναρίθμητων δυνατοτήτων τους, όπως η διαχείριση απεριόριστου όγκου πληροφοριών ή ακόμα και η δημιουργία νέων πληροφοριών, παρέχουν ένα πλήθος νέων εργαλείων ολιστικής διαχείρισης και προστασίας.

1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Έως τα τέλη του 20ου αιώνα η αύξηση των τοπογραφικών δεδομένων, η βελτίωση της ποιότητας (διακριτική ικανότητα) των εικόνων από δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα και η ανάπτυξη των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών οδήγησαν στην επιτακτική ανάγκη για δημιουργία ενός συστήματος που θα μπορούσε να συνδυάσει χωρική και περιγραφική πληροφορία για ποικίλες χαρτογραφικές εφαρμογές.

Την ανάγκη αυτή κάλυψε η δημιουργία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) ή Geographic Information Systems όπως αναφέρεται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Τα ΓΣΠ είναι χρήσιμα εργαλεία, που βοηθούν τους πάντες, από επιστήμονες έως απλούς πολίτες, να λύσουν γεωγραφικά προβλήματα (Longley et al, 2005). Αποτελούν μία συλλογή από γεωαναφερμένα δεδομένα σε συνδυασμό με τα

απαραίτητα εργαλεία για την επεξεργασία τους (Reynolds, 1997). Ευρύτερα ο όρος ΓΣΠ εφαρμόζεται στα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης γεωγραφικών πληροφοριών (Maguire et al, 1991).

Ειδικότερα, τα ΓΣΠ αποτελούν το είδος της τεχνολογίας που ενσωματώνει πληροφορίες που μπορεί να περιλαμβάνουν πτυχές της επιφάνειας της γης, δημογραφικά και οικονομικά στοιχεία, γεωγραφία, τοπογραφία, φωτογραφικά και χαρτογραφικά δεδομένα, πληροφορίες φωτογραμμετρίας, τηλεπισκόπηση, αρχιτεκτονική τοπίου και φυσικά την επιστήμη των υπολογιστών (Loague et al, 1998). Τα ΓΣΠ δέχονται δεδομένα από πολλαπλές πηγές οι οποίες μπορεί να έχουν διαφορετικές τυποποιήσεις και δομές, όπως χάρτες, εικόνες, φωτογραφίες, ψηφιακά προϊόντα, κείμενα και πίνακες δεδομένων.

Σκοπός ενός ΓΣΠ είναι να βοηθήσει τον χρήστη στη λήψη αποφάσεων, επιλέγοντας την βέλτιστη λύση σε μια εφαρμογή μέσα από μία σειρά διεργασιών. Η μεθοδολογία που ακολουθεί κάποιος δουλεύοντας με τα ΓΣΠ συνίσταται από 7 στάδια: τον προσδιορισμό των απαιτήσεων του έργου, την διατύπωση των προδιαγραφών, την ανάπτυξη του αναλυτικού πλαισίου εργασίας, τον εντοπισμό των πηγών δεδομένων, την οργάνωση και τον κατάλληλο χειρισμό των δεδομένων εισόδου, την επαλήθευση των αποτελεσμάτων και τέλος την εκτίμηση των αποτελεσμάτων (Nath et al, 1999).

Η συμβολή των ΓΣΠ στην διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων και γενικά στην επιστήμη της Δασολογίας είναι ανυπολόγιστη. Τα ΓΣΠ διευκολύνουν την χαρτογράφηση μεγάλων δασικών επιφανειών, έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν μεγάλο όγκο πληροφοριών, δίνουν την δυνατότητα στο χειριστή να ανακτά όλα τα χαρτογραφημένα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη δασικών επιφανειών (τοπογραφία, ανάγλυφο, γεωμορφολογία, χλωρίδα και πανίδα), μπορεί να περιέχουν βάσεις δεδομένων απογραφής των δασικών προϊόντων, θεματικά επίπεδα υφιστάμενου οδικού δικτύου και χώρων ιδιαίτερου οικολογικού ενδιαφέροντος κ.α. συμβάλλοντας καθοριστικά στη ορθή και αειφόρο διαχείριση τους.

Υπό το πρίσμα αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό η σημασία της χρήσης των ΓΣΠ στην παρούσα μελέτη ως εργαλεία στήριξης μιας έρευνας αλλά και ως τμήμα στην διαμόρφωση του αποτελέσματος.

1.2 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

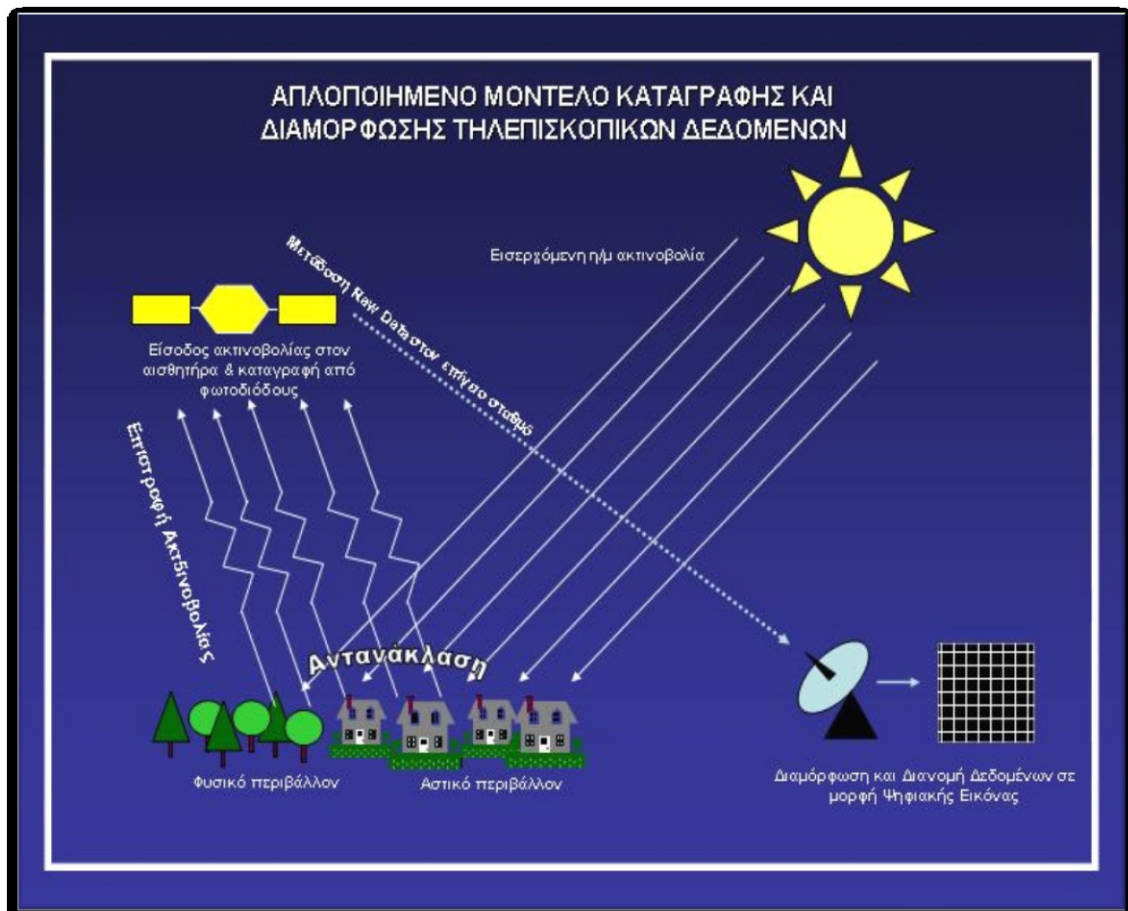
1.2.1 *Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ*

Η Τηλεπισκόπηση ή Remote sensing όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία αφορά την επιθεώρηση αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Η ίδια η λέξη τηλεπισκόπηση προέρχεται από τη σύνθεση του αρχαίου επιρρήματος "τηλε" (μακρόθεν) και του ρήματος "επισκοπώ" (εξετάζω, επιθεωρώ). Η τηλεπισκόπηση είναι το πεδίο της τεχνολογίας που σχεδιάστηκε για να επιτρέψει στους ανθρώπους να κοιτάζουν πέρα από το φάσμα της ανθρώπινης όρασης (Olsen, 2007).

Η έννοια της Τηλεπισκόπησης αφορά τη συλλογή δεδομένων ή πληροφοριών για ένα αντικείμενο ή φαινόμενο, με τη χρήση ανιχνευτικών συσκευών, με το οποίο δεν υπάρχει φυσική επαφή. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να προκύψουν από 2 είδη συστημάτων καταγραφής, τα ενεργητικά και τα παθητικά συστήματα. Πιο χαρακτηριστικά και διαδεδομένα είναι αυτά που προέρχονται από ανιχνευτές οι οποίοι φέρονται από δορυφόρους (δορυφορική τηλεπισκόπηση) (Καρτάλης και Φειδάς, 2006).

Ως Τηλεπισκόπηση (Μερτίκας, 2006) ορίζεται η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς να επέλθει απευθείας επαφή με αυτόν. Κύριος σκοπός της, είναι η μέτρηση και η απεικόνιση της επιφάνειας της Γης, η κατανομή των διαφόρων αντικειμένων και φαινομένων στον χώρο, καθώς και ο καθορισμός της θέσης και των ιδιοτήτων τους. Αυτό γίνεται με την ανίχνευση και καταγραφή της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ενέργειας και την επεξεργασία, ανάλυση και εφαρμογή των εν λόγω πληροφοριών.

Εν συντομία, η διαδικασία της Τηλεπισκόπησης (πηγή: <http://el.wikipedia.org>, 2013, Α) περιλαμβάνει μια αλληλεπίδραση μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των στόχων ενδιαφέροντος. Η εικόνα 1 παρουσιάζει τα μέρη που αποτελούν ένα τυπικό και απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων.



Εικόνα 1: Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεπισκοπικών δεδομένων (πηγή: www.wikipedia.org, 2013, Β)

Κύριο τμήμα του όλου συστήματος είναι μια πηγή ενέργειας ή φωτισμού, που αποτελεί βασική προϋπόθεση για την τηλεπισκόπηση, η οποία φωτίζει ή παρέχει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στο στόχο του ενδιαφέροντος. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ταξιδεύει μέσω της ατμόσφαιρας της Γης, αλληλεπιδρά με τα σωματίδια που την αποτελούν, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα μόνο ένα μικρό φάσμα της ακτινοβολίας τελικά να φτάνει έως την επιφάνεια του αντικείμενου - στόχου. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να λάβει χώρα μια δεύτερη φορά καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ταξιδεύει από τον στόχο για τον αισθητήρα. Το μέρος της ακτινοβολίας που τελικά φθάνει στη γη αλληλεπιδρά με το αντικείμενο - στόχο και ανάλογα με τις ιδιότητες του στόχου και της ακτινοβολίας, ένα μέρος αντανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον.

Η ακτινοβολία που αντανακλάται διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προορισμό το διάστημα. Σε πολύ μεγάλο ύψος (300χλμ - 800χλμ συνήθως) βρίσκονται

σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με ανιχνευτές. Εκεί, η ακτινοβολία που αντανακλάστηκε προς το διάστημα, διέρχεται μέσα από πρισματικές διατάξεις που την διαχωρίζουν σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους, έπειτα οδηγείται σε φωτοδιόδους - ανιχνευτές (Charge-Coupled Device, συσκευή ή διάταξη συζευγμένου φορτίου) που μετατρέπουν την ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται προς τη γη στους επίγειους σταθμούς (Ground Stations) όπου επεξεργάζεται, διορθώνεται και λαμβάνει την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας.

Τέλος, η εικόνα αυτή διανέμεται στους τελικούς χρήστες, επεξεργάζεται και ερμηνεύεται κατάλληλα με σκοπό την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με το αντικείμενο - στόχο ή φαινόμενο, την μελέτη των ιδιοτήτων του ή την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος.

1.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Με την ανακάλυψη της φωτογραφίας, ο άνθρωπος ξεκίνησε να αποτυπώνει στο φιλμ την Γη, την επιφάνεια της καθώς και ότι αντικείμενο ήταν προσαρτημένο σε αυτή, φυσικό ή τεχνητό. Δημιούργησε δεδομένα εικόνων και με την κατάλληλη επεξεργασία με ειδικά προγράμματα λογισμικού άρχισε να την μελετά με σκοπό την κατανόηση των ιδιοτήτων της, την παρακολούθηση τυχόν μεταβολών και την καταγραφή διαφόρων φαινομένων που συμβαίνουν στην επιφάνειά της ή κάτω από αυτή. Η δημιουργία νέων ισχυρών σταθμών εργασίας με γραφικά για την απεικόνιση των δεδομένων εικόνας και τα προγράμματα λογισμικού για την επεξεργασία της, έκαναν τη χρήση της τηλεπισκόπησης οικονομικά προσιτή σε κάθε χρήστη και οδήγησε στην εξάπλωσή της σε πληθώρα επιστημονικών τομέων (Μερτίκας, 2006).

Μερικές από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης είναι οι εξής:

- **Παρατήρηση της ατμόσφαιρας.**

Μία από τις πρώτες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης ήταν η πρόγνωση του καιρού και η παρατήρηση μετεωρολογικών φαινομένων. Φυσικά, αναμενόμενο ήταν ότι συνέχεια θα δινόταν και στην συνολική μελέτη της γήινης ατμόσφαιρας, όπως η μελέτη της στοιβάδας του όζοντος, η ύπαρξη νεφών κ.τ.λ.

- **Μελέτη του Υδάτινου Περιβάλλοντος – Υδρόσφαιρα.**

Κυριότερη εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης στο συγκεκριμένο τομέα είναι η συνολική χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα. Ακολούθησαν εφαρμογές με σκοπό την μελέτη των μεταβολών της θερμοκρασίας των υδάτων, την παρακολούθηση της ρύπανσης τους, την ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων, την αναγνώριση του υδρογραφικού δικτύου καθώς και την μελέτη τυχόν πλημμυρικών φαινομένων, την παρακολούθηση και ανάλυση λεκανών απορροής (χρήσεις, διαβρώσεις) κ.α.

- **Παρατήρηση της λιθόσφαιρας.**

Με την Τηλεπισκόπηση έγινε δυνατή η αναγνώριση των γεωμορφών, η ανίχνευση και ο εντοπισμός ορυκτών, η παρακολούθηση διαχρονικών μεταβολών γεωδυναμικών φαινομένων, η παρακολούθηση ηφαιστειακών διεργασιών, η εξερεύνηση γεωθερμικών πεδίων, η αναγνώριση γεωμορφολογικών στοιχείων – μεταλλευμάτων, ο εντοπισμός ρηγμάτων κ.α.

- **Μελέτη της Βιόσφαιρας**

Με την Τηλεπισκόπηση δόθηκε η δυνατότητα σε επιστήμονες να μελετήσουν την σύνθεση της φυτικής βλάστησης και την δυναμική συμπεριφορά της μέσω του κύκλου ανάπτυξής της, την αναγνώριση των γενικών κατηγοριών κάλυψης – χρήσης γης, την εξάπλωση ή απώλεια των δασικών οικοσυστημάτων κ.α.

- **Δομημένο περιβάλλον**

Αντίστοιχες εφαρμογές Τηλεπισκόπησης έχουμε και στο δομημένο περιβάλλον. Μελέτες για το σχεδιασμό χρήσεων γης, για την ανάπτυξη των ορίων των πόλεων, για τις τάσεις εξάπλωσης των μεγάλων αστικών κέντρων, την αναγνώριση ανθρωπογενών κατασκευών – υποδομών, το σχεδιασμό οδικού δικτύου κ.α.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Το παρόν κεφάλαιο, εξυπηρετεί ως εισαγωγικό τμήμα της μεθοδολογίας που θα εφαρμοστεί στη περιοχή μελέτης για την διεκπεραίωση του στόχου μας. Γίνεται ανασκόπηση των κλασικών μοντέλων εκτίμησης της παραγωγικότητας των φυτικών οικοσυστημάτων και των εφαρμογών σύζευξης των κλασικών μοντέλων εκτίμησης βιομάζας με τις νέες τεχνολογίες, όπως η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

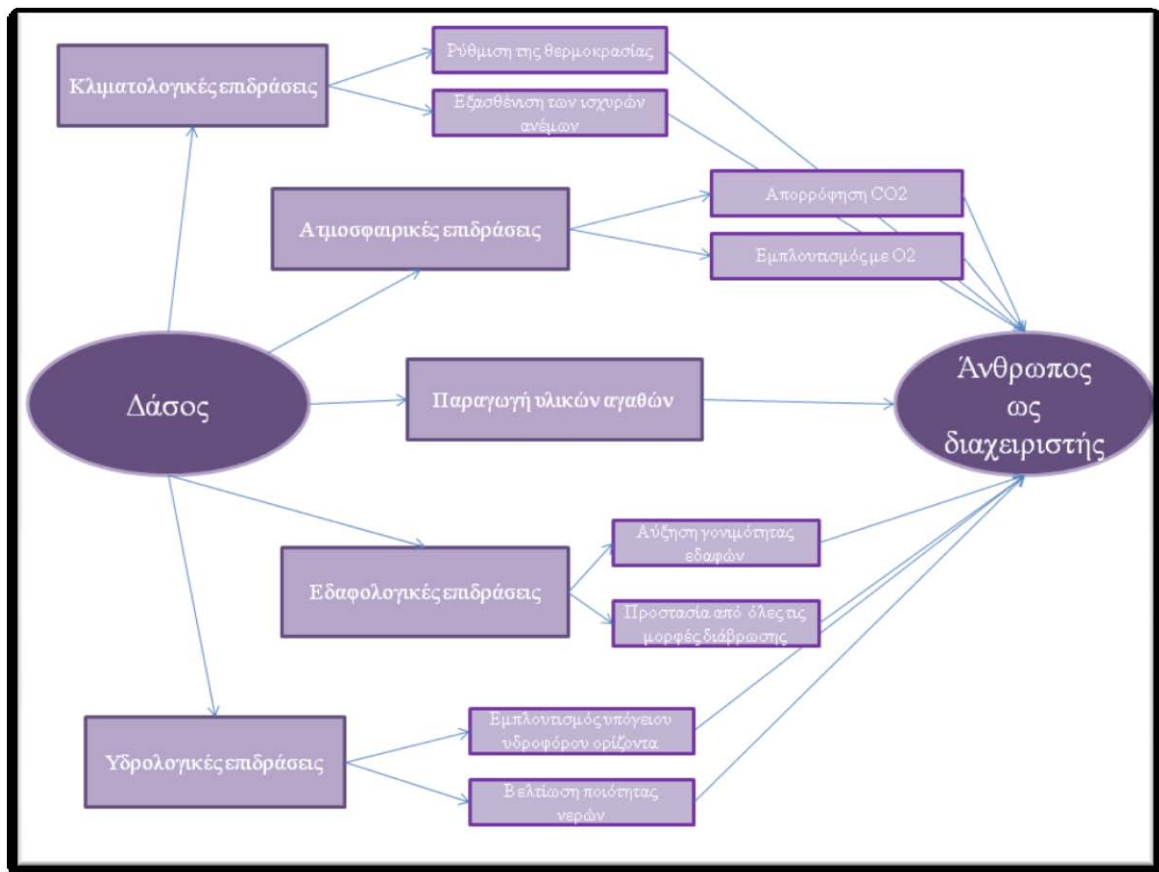
Μετέπειτα, αναλύεται αδρομερώς η μεθοδολογία που ακολουθείται για την κατασκευή των εμπειρικών μοντέλων εκτίμησης βιομάζας και παρουσιάζεται η ιδιόμορφη φυσιολογία της περιοχής μελέτης.

2.1 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η εκτίμηση του παραγωγικού δυναμικού ενός δασικού οικοσυστήματος ή ειδαίλλως η εκτίμηση της βιομάζας του είναι απαραίτητη για την μελέτη της παραγωγικότητας του, την ερμηνεία του κύκλου του άνθρακα, την κατανομή των θρεπτικών ουσιών και τη συσσώρευση της καύσιμης ύλης στα χερσαία οικοσυστήματα (Zheng et al, 2004). Αποτελεί, ένα ποσοτικό δείκτη του άνθρακα που θα επιστρέψει στην ατμόσφαιρα κατά την διατάραξη του φυσικού οικοσυστήματος, δηλαδή την μετατροπή του σε μια εναλλακτική χρήση γης, την καταστροφή του από πυρκαγιά ή άλλη διεργασία (αποψιλωτικές υλοτομίες, μετατροπή σε γεωργικές εκτάσεις ή δομημένες επιφάνειες κ.α.).

Η αξιόπιστη παρακολούθηση της δασικής βιομάζας είναι εξέχουσας σημασίας τόσο για τον υπολογισμό του άνθρακα όσο και για την υποστήριξη των ενεργειών που σχετίζονται με την αειφορική διαχείριση των δασών (Labrecque et al, 2006). Η εκτίμηση της υπέργεια βιομάζας αποτελεί ουσιώδη πτυχή των μελετών της δέσμευσης του CO₂ από τα δάση, των αποτελεσμάτων της αποψίλωσης των δασών, του παγκόσμιου ισοζυγίου του άνθρακα ενώ παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για μια πληθώρα παγκοσμίων ζητημάτων. Επιπλέον είναι ένα χρήσιμο μέτρο για τη σύγκριση των δομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των δασικών οικοσυστημάτων σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών (Mani et al, 2006).

Παγκοσμίως, μέσω διάφορων πρωτοβουλιών για το περιβάλλον όπως το παγκόσμιο πρόγραμμα "Land" (πηγή: <http://en.wikipedia.org>, 2013, Γ) (τμήμα του Διεθνούς Προγράμματος Γεώσφαιρας - Βιόσφαιρας, IGBP και του Διεθνούς Προγράμματος Ανθρωπιστικής Διάστασης, IHDP) γίνεται μια προσπάθεια κατανόησης των αλλαγών των χερσαίων οικοσυστημάτων, δεδομένων των προοπτικών της ταχείας και μαζικής παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής. Στόχος αυτών των ενεργειών είναι η μέτρηση και η κατανόηση του "άνθρωπο - περιβαλλοντικού" συστήματος (εικόνα 2). Αυτό επιτυγχάνεται τόσο με τον εντοπισμό των παραγόντων, των δομών και τη φύση του περίπλοκου αυτού συστήματος όσο και με την εκτίμηση της δυναμικότητάς του (βιομάζα, ποσότητα δεσμευμένου CO₂) και τον προσδιορισμό των αλληλεπιδράσεων τους.



Εικόνα 2: Άνθρωπο - Περιβαλλοντικό σύστημα (πηγή: Ίδια επεξεργασία)

Αναφορικά με την Ελλάδα, η παρακολούθηση των χερσαίων και κυρίως των δασικών οικοσυστημάτων ακολουθεί τις οδηγίες του Δασικού Κώδικα. Σύμφωνα με το Δασικό Κώδικα Ν.Δ. 86/69 (ΦΕΚ Α'7) και συγκεκριμένα τα άρθρα 63 και 64, η διαχείριση των δασών γίνεται βάσει συγκεκριμένων δασοπονικών μελετών (διαχειριστικές) με ισχύ

περίπου 10 έτη, στις οποίες μεταξύ άλλων, υπολογίζεται το ξυλώδες κεφάλαιο των μεμονωμένων δασικών συστάδων άλλα και ολόκληρου του δασικού συμπλέγματος (συνολική βιομάζα), η παραγωγή της τρέχουσας 10ετίας διαχείρισης υπό τη μορφή προσαύξησης και φυσικά το ποσό ξυλώδους όγκου που δίνεται προς υλοτομία με τη μορφή λήμματος.

Η εκτίμηση της δασικής βιομάζας, όπως αναφέρει η διεθνή και η ελληνική βιβλιογραφία, μπορεί να γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές ενός αρκετά μεγάλου πλήθους μεθοδολογιών ή τεχνικών. Όλες οι μεθοδολογίες ή τεχνικές αρχικά ξεκινούν με την εκτίμηση της βιομάζας ενός αριθμού δένδρων και στη συνέχεια τα αποτελέσματα αυτά μετατρέπονται, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, στη μονάδα επιφάνειας, το εκτάριο (Μάτης, 1994).

Οι μέθοδοι αυτοί διακρίνονται σε 2 βασικές κατηγορίες (Μάκρας, 2007):

- στις μεθόδους που στοχεύουν στην άμεση εκτίμηση της βιομάζας από μετρήσεις ή εργασίες πεδίου και
- στις διάφορες τεχνικές εκτίμησης της βιομάζας οι οποίες στηρίζονται στα υπάρχοντα στοιχεία δασικών απογραφών.

Οι μέθοδοι αυτοί είτε στηρίζονται σε άμεσες είτε σε έμμεσες παρατηρήσεις ενός οικοσυστήματος βρίσκουν εφαρμογή σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών ιδιομορφιών - χαρακτηριστικών όπως η σύνθεση της βλάστησης, το ανάγλυφο, η δασοπονική μορφή, η ηλικία, η διαχειριστική μορφή, η κάλυψη κ.α.

Οι σπουδαιότερες μέθοδοι σύμφωνα με τον Μάτη (1994) είναι οι εξής:

- **Η μέθοδος του μέσου κορμού:** χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους μέσους κορμούς, με τους οποίους προσδιορίζεται η βιομάζα και στη συνέχεια μετατρέπεται στη μονάδα επιφάνειας δια του πολλαπλασιασμού της μέσης βιομάζας ανά μέσο κορμό επί τον συνολικό αριθμό των κορμών της συστάδας στο εκτάριο (χρήση σε φυτείες ή ομήλικες συστάδες).
- **Η μέθοδος του στρωματωμένου μέσου κορμού:** αποτελεί τροποποίηση της προηγούμενης μεθόδου, στην οποία η συστάδα χωρίζεται σε Κ στρώματα ανάλογα με το μέγεθος της διαμέτρου και σε κάθε στρώμα εντοπίζεται ένας ξεχωριστός μέσος κορμός (χρήση σε ανομήλικες συστάδες).

- **Η μέθοδος της παλινδρόμησης:** χρησιμοποιεί εξισώσεις που δίνουν την βιομάζα ως συνάρτηση εύκολα μετρούμενων διαστάσεων των δένδρων, κάτι ανάλογο με τους μαζοπίνακες, σε δοκιμαστικές επιφάνειες σταθερής έκτασης για να παρθεί η βιομάζα της δοκιμαστικής επιφάνειας. Οι εξισώσεις αυτές ονομάζονται αλλομετρικές εξισώσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος τυχαίνει ευρείας εφαρμογής σε μελέτες δασικής βιομάζας.
- **Η μέθοδος δοκιμαστικών επιφανειών σταθερής έκτασης:** χρησιμοποιεί μικρές δοκιμαστικές επιφάνειες σταθερής έκτασης κατανεμημένες τυχαία σε ολόκληρη τη συστάδα. Όλα τα δένδρα που υπάρχουν στις επιφάνειες αυτές υλοτομούνται και υπολογίζεται η βιομάζα καθεμίας από αυτές. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μια δοκιμαστική επιφάνεια μεγαλύτερης όμως έκτασης που θα αντιπροσωπεύει την βιομάζα του συνόλου της δασικής συστάδας.
- **Η μέθοδος της αναλογίας της κυκλικής επιφάνειας:** εφαρμόζεται σε ορισμένα δειγματοληπτικά δένδρα στα οποία εκτιμάται η βιομάζα και η κυκλική τους επιφάνεια. Η βιομάζα της συστάδας στη συνέχεια υπολογίζεται δια του πολλαπλασιασμού της βιομάζας των δειγματοληπτικών δένδρων επί το πηλίκο κυκλικής επιφάνειας συστάδας δια τη συνολική κυκλική επιφάνεια των δειγματοληπτικών δένδρων.

Οι Kale et al (2002) με τη σειρά τους, διακρίνουν αντίστοιχα τις παραπάνω συμβατικές μεθόδους σε καταστρεπτικές και μη καταστρεπτικές. Η διάκριση αυτή πηγάζει από την ανάγκη συγκομιδής δένδρων ή μη, για την περαιτέρω εκτίμηση της βιομάζας. Η συγκομιδή αυτή μπορεί να περιλαμβάνει την κοπή των μεσαίου μεγέθους δέντρων για ένα σταθμό, την υλοτομία όλων των υλικών σε μία μονάδα επιφάνειας ή εναλλακτικά την συγκομιδή των ατόμων σε μία ευρεία περιοχή και τον καθορισμό μιας σχέσης μεταξύ της βιομάζας και εύκολα μετρήσιμων παραμέτρων των φυτών, όπως είναι, η διάμετρος και / ή το ύψος.

Οι συμβατικές μέθοδοι για την εκτίμηση της βιομάζας (Pinter et al, 1987) ενέχουν σοβαρά μειονεκτήματα τα οποία περιορίζουν τη χρήση τους κατά καιρούς στη βιολογική έρευνα και στα προγράμματα παρακολούθησης. Αφενός, διότι οι περισσότερες από αυτές απαιτούν εντατική, επίπονη και χρονοβόρα εργασία και αφετέρου διότι το μέγεθος, ο αριθμός και η συχνότητα των απαιτούμενων δειγμάτων για την ανίχνευση σημαντικών στατιστικών διαφορών μεταξύ μεθόδων είναι συχνά

πολύ μεγαλύτερα από ό, τι είναι εφικτό λόγω προϋπολογισμού, εργασίας, και διαθέσιμου αποθηκευτικού χώρου.

Επιπλέον, οι απαιτήσεις για ξήρανση των δειγμάτων δεν επιτρέπουν την άμεση χρήση των δεδομένων της βιομάζας σε οποιαδήποτε διαδικασία λήψης αποφάσεων. Έτσι, οι πληροφορίες που δυνητικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την καθοδήγηση των μελλοντικών δειγματοληψιών ή για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μίας μεθόδου είναι συνήθως μη διαθέσιμες μέχρι αρκετές ημέρες μετά την συλλογή. Ίσως βέβαια το πιο σημαντικό, είναι ότι οι καταστροφικές δειγματοληψίες δεν ενδείκνυται συνήθως σε μικρές και μεγάλες επιφάνειες, διότι η αφαίρεση ορισμένων ατόμων ενός πληθυσμού είναι πιθανό να αλλάξουν τις συνθήκες για τα υπόλοιπα.

Όλα τα παραπάνω εμπόδια παρακάμπτονται με την χρήση των μεθόδων της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και συγκεκριμένα των δεικτών βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης, ως αναλογία, διαφοροποίηση, σύνολα αναλογικών διαφορών και γραμμικό συνδυασμό δεδομένων φασματικών καναλιών, επιδιώκουν να ενισχύσουν το σήμα της βλάστησης, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την ηλιακή ακτινοβολία και τις επιδράσεις του εδάφους (Jackson et al, 1991) προσφέροντας την δυνατότητα εκτίμησης της βιομάζας.

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι δείκτες βλάστησης μπορεί να συσχετιστούν άμεσα με τη ποσότητα της βλάστησης (φυτομάζα) και την πρωτογενή παραγωγικότητα (Kale et al, 2002). Επιπλέον, κάθε φυτό ανακλά διαφορετικά στο εγγύς υπέρυθρο με αποτέλεσμα να προσδίδεται στο χρήστη η δυνατότητα διάκρισης κάθε κατηγορίας βλάστησης (Basso et al, 2004).

Τέλος, με την ανάπτυξη των Γ.Σ.Π. είναι δυνατός ο συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων, για μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση των δασικών οικοσυστημάτων, των ιδιοτήτων τους, του παραγωγικού δυναμικού τους, χωρίς χωρικούς, χρονικούς και υπολογιστικούς περιορισμούς, όπως οι εφαρμογές που παρουσιάζονται στη επόμενη ενότητα.

2.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ - ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η εκτίμηση της δασικής βιομάζας, όπως έχουμε ήδη τονίσει, αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την παρακολούθηση του κύκλου του άνθρακα, την συσσώρευση καύσιμης

ύλης στα χερσαία οικοσυστήματα, την μελέτη του παραγωγικού τους δυναμικού ενώ δίνει ταυτόχρονα πληροφορίες για μια σειρά ενδοδασικών και μη διεργασιών. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στην πρακτική εφαρμογών από μια πληθώρα μελετητών με σκοπό την εκτίμηση της βιομάζας.

Η πλειοψηφία αυτών προσπαθούν να εκτιμήσουν την δυναμικότητα των δασικών οικοσυστημάτων, αλλά και άλλων χερσαίων οικοσυστημάτων, όπως λιβάδια και γεωργικές καλλιέργειες, συνδυάζοντας συμβατικές μεθόδους εκτίμησης βιομάζας, καταστροφικές ή μη, με μεθόδους της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με τη κατασκευή εξισώσεων βιομάζας που συνδέουν μεταβλητές τοπικής βιομάζας με αριθμητικές τιμές δεικτών βλάστησης και φυσικά παραγωγή θεματικών χαρτών βλάστησης για μια μεγαλύτερη επιφάνεια εδάφους.

Παρακάτω παραθέτονται ορισμένες περιπτώσεις που εφαρμόζονται σε δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων, σε πάρκα με μικρό υψομετρικό εύρος αλλά και φυσικά ορεινά οικοσυστήματα και συντελούν στη θετική εφαρμογή των μεθόδων Τηλεπισκόπησης στο τομέα της δασοπονίας, ως εργαλεία παρακολούθησης του δυναμικού των δασικών οικοσυστημάτων.

Οι Roy et al (1996) πρότειναν έναν εναλλακτικό τρόπο για την περιφερειακή χαρτογράφηση της βιομάζας του εθνικού πάρκου Μαντάβ (Madhav) με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων Τηλεπισκόπησης. Αρχικά με την εφαρμογή στρωματομένης τυχαίας δειγματοληψίας, σε ομογενή στρώματα βλάστησης, επέλεξαν δοκιμαστικές επιφάνειες στις οποίες υπολόγισαν με χρήση αλλομετρικών εξισώσεων την συνολική βιομάζα (ανωρόφου και ορόφου ποών). Εν συνεχεία, ανέπτυξαν εμπειρικά μοντέλα μεταξύ μετρούμενων δορυφορικών φασματικών αποκρίσεων και βιομάζας. Τα εν λόγω μοντέλα περιλάμβαναν δύο δείκτες βλάστησης στις εξισώσεις υπολογισμού της βιομάζας, που κατασκεύασαν μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης απομονώνοντας όμως παράγοντες φωτεινότητας και υγρασίας. Τα αποτελέσματα απέδειξαν την ύπαρξη μιας σημαντικής σχέσης μεταξύ των παραπάνω δεδομένων, η οποία εμφανίζει εποχιακή εξάρτηση σε διάφορες συνθήκες και είναι ισχυρότερη στη ζώνη του ορατού και μέσου υπέρυθρου.

Οι Zheng et al (2004) με τη σειρά τους, θέλοντας να αξιολογήσουν την λειτουργία και την δομή των οικοσυστημάτων που αποτελούν τον εθνικό Δρυμό Σουαμαγκέν

(Chequamegon) στο Γουισκόνσιν των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (ΗΠΑ), αντιλήφθηκαν ότι αυτό ήταν δυνατό μόνο με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων, μιας και η συνολική επιφάνεια μελέτης καταλάμβανε εκατοντάδες εκτάρια. Εν ολίγοις οι μελετητές συνδύασαν διάφορες τεχνικές διαχείρισης δασών με τεχνικές ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων, που προέρχονται από συστήματα καταγραφής δορυφόρου Landsat 7, μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης για την παραγωγή ενός αρχικού χάρτη βλάστησης. Ο εν λόγω χάρτης, επικαλύφθηκε με ένα χάρτη κάλυψης γης για την παραγωγή ενός νέου θεματικού χάρτη ηλικιών. Οι δύο παραπάνω χάρτες συσχετίστηκαν με μετρήσεις πεδίου και υπολογίστηκαν οι οριακές ποσότητες βιομάζας κάθε ηλικιακής κατηγορίας (για νέους, ενδιάμεσους και ώριμους σταθμούς) και τύπους βλάστησης. Επιπλέον, οι παραπάνω ποσότητες βιομάζας συσχετίστηκαν με τις ραδιομετρικές τιμές των καναλιών των δορυφορικών εικόνων και των δεικτών βλάστησης, δίνοντας σχετικά υψηλό προβάδισμα στην εκτίμηση της βιομάζας για τα κωνοφόρα δάση στον διορθωμένο κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI). Σύμφωνα με τους μελετητές οι παραγόμενοι χάρτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως στοιχεία αναφοράς για μελλοντικές μελέτες, όπως η ποσοτικοποίηση του άνθρακα σε περιφερειακό επίπεδο, η συσσώρευση καύσιμης ύλης στα χερσαία οικοσυστήματα ή η παρακολούθηση των διαφόρων πρακτικών διαχείρισης.

Μια τρίτη μελέτη, έρχεται από τους Mingdong et al (2006), οι οποίοι επίσης θεώρησαν ότι ο ορθότερος και καταλληλότερος τρόπος εκτίμησης των χαρακτηριστικών του δάσους Σόνγκπαν - Ζενγκζιανγκουάν (Songpan-Zhengjiangguan) νοτιοδυτικά της επαρχίας Σιτσουάν (Sichuan) στη Κίνα, όπως η βιομάζα, η ηλικία και το χωρικό του πρότυπο, είναι η εφαρμογή μεθόδων τηλεπισκόπησης. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω σκοπός οι μελετητές προχώρησαν στη λήψη δειγματοληπτικών επιφανειών, εντός των οποίων έλαβαν μετρήσεις σχετικά με τη μέση διάμετρο και το ύψος των δένδρων, την ηλικία, τον όγκο κ.τ.λ. Με τα παραπάνω δεδομένα εκτίμησαν τη ποιότητα του δασικού σταθμού "κατασκευάζοντας" έναν δείκτη τόπου. Στη συνέχεια, με τη χρήση της ανάλυσης παλινδρόμησης συσχέτισαν τον παραπάνω δείκτη με 2 δείκτες βλάστησης, το κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI και τον ρυθμισμένο NDVI με παράγοντες εδάφους, που παρήγαγαν από εικόνες δορυφόρου LandSat και σχημάτισαν 2 διαφορετικές εξισώσεις εκτίμησης της παραγωγικότητας του οικοσυστήματος. Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε και έδωσε αξιόλογα αποτελέσματα, μιας και

απέδειξε ότι ο τοπικός δείκτης του δάσους ερυθρελάτης είναι σε γραμμική συσχέτιση με τους δύο δείκτες βλάστησης, καθώς επίσης κατέδειξε ότι αυτή η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παρόμοιες περιπτώσεις εκτίμησης ανομοιογενών δασικών οικοσυστημάτων.

Τέλος, αναφέρουμε μια προσπάθεια χαρτογράφησης και οπτικοποίησης της καύσιμης ύλης του δημοσίου δάσους Κρατήγου στη χερσόνησο Αμαλή της νήσου Λέσβου από τη Ρούσου (2009). Στη συγκεκριμένη μελέτη, ως εν δυνάμει καύσιμη ύλη θεωρήθηκε το σύνολο της οργανικής ύλης που είναι αποθηκευμένο στη περιοχή μελέτης ως βλάστηση - βιομάζα. Η εκτίμηση της, έγινε με χρήση αλλομετρικών εξισώσεων που την υπολόγιζαν χρησιμοποιώντας διάφορα βιολογικά χαρακτηριστικά της, εύκολα μετρήσιμων, όπως είναι το ύψος, η σθηθαία διάμετρος, ο αριθμός των κλαδιών των δένδρων και θάμνων κ.τ.λ. Τα παραπάνω δεδομένα προήλθαν από δειγματοληπτικές επιφάνειες στην περιοχή μελέτης μέσω συστηματικής δειγματοληψίας. Εν συνεχεία, η βιομάζα που υπολογίστηκε για κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια συσχετίστηκε με τις αριθμητικές τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI, όπως υπολογίστηκε από την πολυφασματική δορυφορική εικόνα QuickBird χωρικής ανάλυσης 0.6μ. Παράγωγα της παραπάνω διαδικασίας ήταν νέες εξισώσεις για κάθε είδος βλάστησης (όροφος δένδρων και όροφος θάμνων) που βρίσκουν εφαρμογή στο σύνολο της επιφάνειας της χερσονήσου Αμαλή και προσδιορίζουν με αρκετά μεγάλη ακρίβεια τη ποσότητα βιομάζας σε κάθε σημείο της. Με καθολική εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων στην επιφάνεια της περιοχής μελέτης παρήχθησαν χάρτες βλάστησης στους οποίους εφαρμόζονται διάφορα συστήματα μοντελοποίησης της καύσιμης ύλης και προσομοίωσης της συμπεριφοράς πυρκαγιάς.

Οι παραπάνω μελέτες, οι οποίες έχουν εφαρμοστεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα με ανόμοια χαρακτηριστικά, σύνθεση βλάστησης, ανάγλυφο, ποσοστό κάλυψης, διαχειριστική κλάση κ.τ.λ. παρουσιάζουν κάτι κοινό, την δυνατότητα χρήσης των μεθόδων της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης με σκοπό τον υπολογισμό της βιομάζας σε μεγάλη χωρική επιφάνεια. Τα αποτελέσματά τους χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλη ή τουλάχιστον ικανοποιητική ακρίβεια και αποτελούν πρωτογενή δεδομένα σε ένα σύστημα λήψης αποφάσεων σχετικά με την αειφόρο διαχείριση των οικοσυστημάτων στα οποία εφαρμόστηκαν.

2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

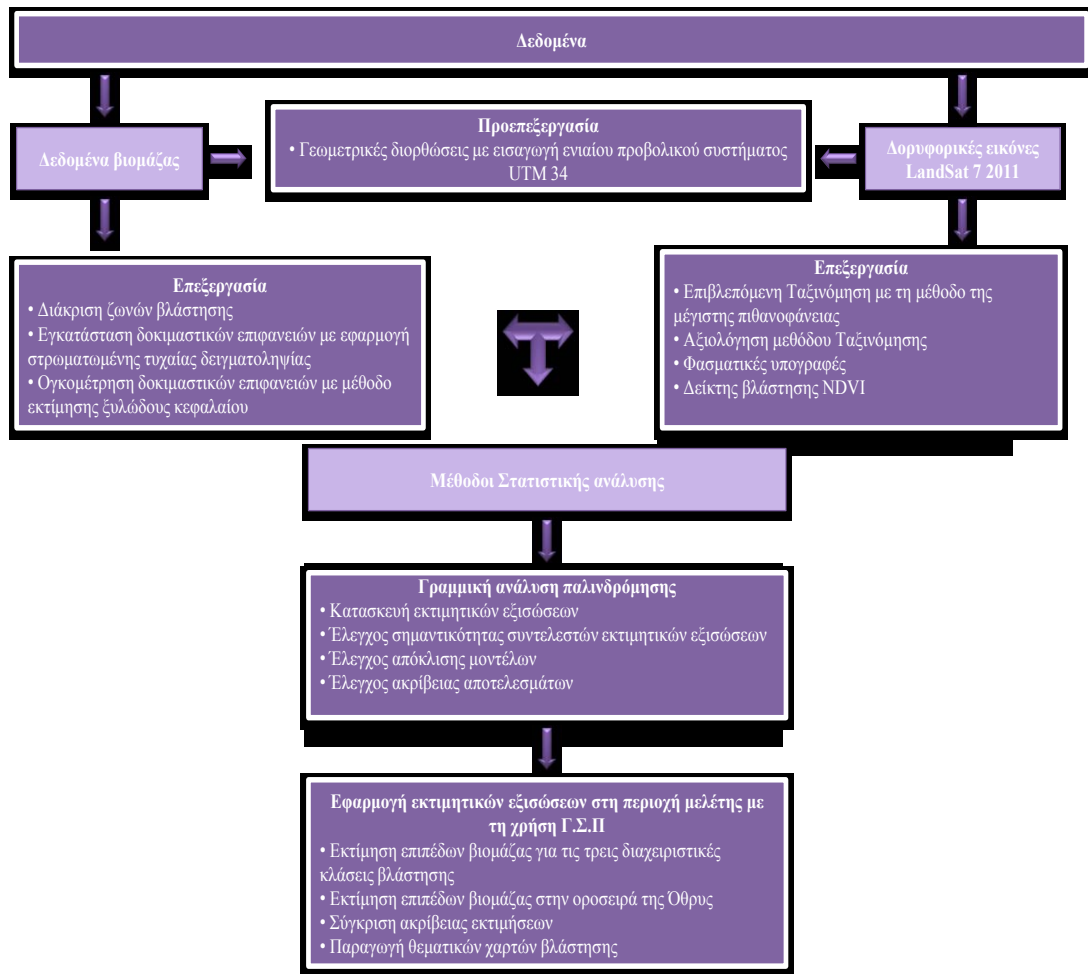
Η μεθοδολογία διαρθρώνεται σε 2 κύρια μέρη. Στη συλλογή και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, μέσω εφαρμογής εκτιμητικών μεθόδων βιομάζας και τεχνικών τηλεπισκόπησης και στην εφαρμογή μεθόδων στατιστικής ανάλυσης με σκοπό την κατασκευή εμπειρικών - εκτιμητικών μοντέλων και του ελέγχου της αποτελεσματικότητάς τους.

Αρχικά, για τη συλλογή των δεδομένων βιομάζας, προχωρήσαμε σε διάκριση του συνόλου της βλάστησης σε 3 ζώνες. Εντός αυτών, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή συστηματικής δειγματοληψίας για την εγκατάσταση των δοκιμαστικών επιφανειών στην περιοχή μελέτης. Με την χρήση μεθόδου εκτίμησης ξυλώδους κεφαλαίου υπολογίστηκε ο συνολικός ξυλώδης όγκος. Παράλληλα, για την παραγωγή των φασματικών πληροφοριών και του δείκτη βλάστησης, από τις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες, προχωρήσαμε σε επεξεργασία αυτών, όπως γεωμετρικές διορθώσεις και εισαγωγή προβολικού συστήματος αναφοράς, ταξινόμηση χρήσεων γης, παραγωγή φασματικών υπογραφών, εκτίμηση δείκτη βλάστησης NDVI.

Στο δεύτερο μέρος, συσχετίστηκαν τα δεδομένα βιομάζας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη βλάστησης NDVI, μέσω της μεθόδου της γραμμικής ανάλυσης παλινδρόμησης και κατασκευάστηκαν οι εξισώσεις εκτίμησης - πρόβλεψης βιομάζας για κάθε διαχειριστική κλάση βλάστησης. Για τον έλεγχο των συντελεστών των παραπάνω εξισώσεων, ως προς τη σημαντικότητα τους στο αντίστοιχο μοντέλο, έγινε χρήση λογισμικών στατιστικής ανάλυσης. Επιπλέον, για κάθε ενότητα βλάστησης, υπολογίστηκε ο βαθμός απόκλισης των αποτελεσμάτων των εξισώσεων εκτίμησης από τις πραγματικές ποσότητες βιομάζας.

Τέλος, με την χρήση των ΓΣΠ παρήχθησαν θεματικοί χάρτες βλάστησης, οι οποίοι φέρουν ως περιγραφική πληροφορία τις ποσότητες της βιομάζας, ως αποτέλεσμα εφαρμογής των παραπάνω εκτιμητικών εξισώσεων στην περιοχή μελέτης.

Στην εικόνα 3, που ακολουθεί δίνεται υπό τη μορφή διαγράμματος, το σύνολο των σταδίων που ακολουθήθηκαν και περιγράφηκαν προηγουμένως για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας έρευνας.



Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής εργασιών μεθοδολογίας (πηγή: Ίδια επεξεργασία)

2.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η οροσειρά της Όθρυος βρίσκεται στη Νοτιοδυτική πλευρά του Νομού Μαγνησίας και στη Βορειοανατολική πλευρά του Νομού Φθιώτιδας, με την κορυφογραμμή της να οριοθετεί τα γεωγραφικά διαμερίσματα της Θεσσαλίας και της Στερεάς Ελλάδας.

Η ψηλότερη κορυφή της είναι το Γκιούζι με υψόμετρο που ανέρχεται στα 1.726 μ. και πλαισιώνεται από δύο άλλες κορυφές, τον Πήλιουρα (ανατολικά) με υψόμετρο 1.557 μ. και το Γερακοβούνι (δυτικά) με 1.638 μ. αντίστοιχα, ενώ η συνολική της έκταση ξεπερνά τα 840.000 στρέμματα. Το Βορειοανατολικό μέτωπο της οροσειράς βλέπει τον Παγασητικό κόλπο και τον κάμπο της δημοτικής ενότητας Αλμυρού ενώ νοτίως το Μαλιακό κόλπο (πηγή: Εν Δράσει, 2013).

Συγκεκριμένα, ως περιοχή μελέτης θεωρείται η επιφάνεια της οροσειράς της Όθρυος που οριοθετείται εντός των διοικητικών ορίων του Νομού Μαγνησίας (Εικόνα 4), με υψόμετρο που κυμαίνεται από 0 μ. έως 1.726 μ. όπου είναι και η κορυφή.



Εικόνα 4: Οροσειρά Όθρυς (πηγή: USGS, 2013)

Περιλαμβάνει δάση και δασικές εκτάσεις, κυρίως πλατύφυλλα φυλλοβόλα δάση και αυτοφυή κωνοφόρα που καλύπτουν έως και 15% της επιφάνειάς της, όπως τα δημοτικά δάση Ανάβρας, Βρύναινας, Κοκκωτών, Κωφών και μερικά ιδιωτικά δάση, θαμνώνες (Σκληρόφυλλοι θάμνοι, γκαρίγκ και μακί, θάμνοι) που καταλαμβάνουν έως και το 40% της συνολικής επιφάνειας, λιβάδια (Αλπικά και υποαλπικά ποολίβαδα, ξερά πυριτιούχα ποολίβαδα, στέπες και ξερά ασβεστούχα ποολίβαδα) με έκταση έως 40% και έντονες βραχώδεις εξάρσεις που καταλαμβάνουν έως και το 5% της συνολικής έκτασης. (πηγή: ornithologiki.gr, 2013).

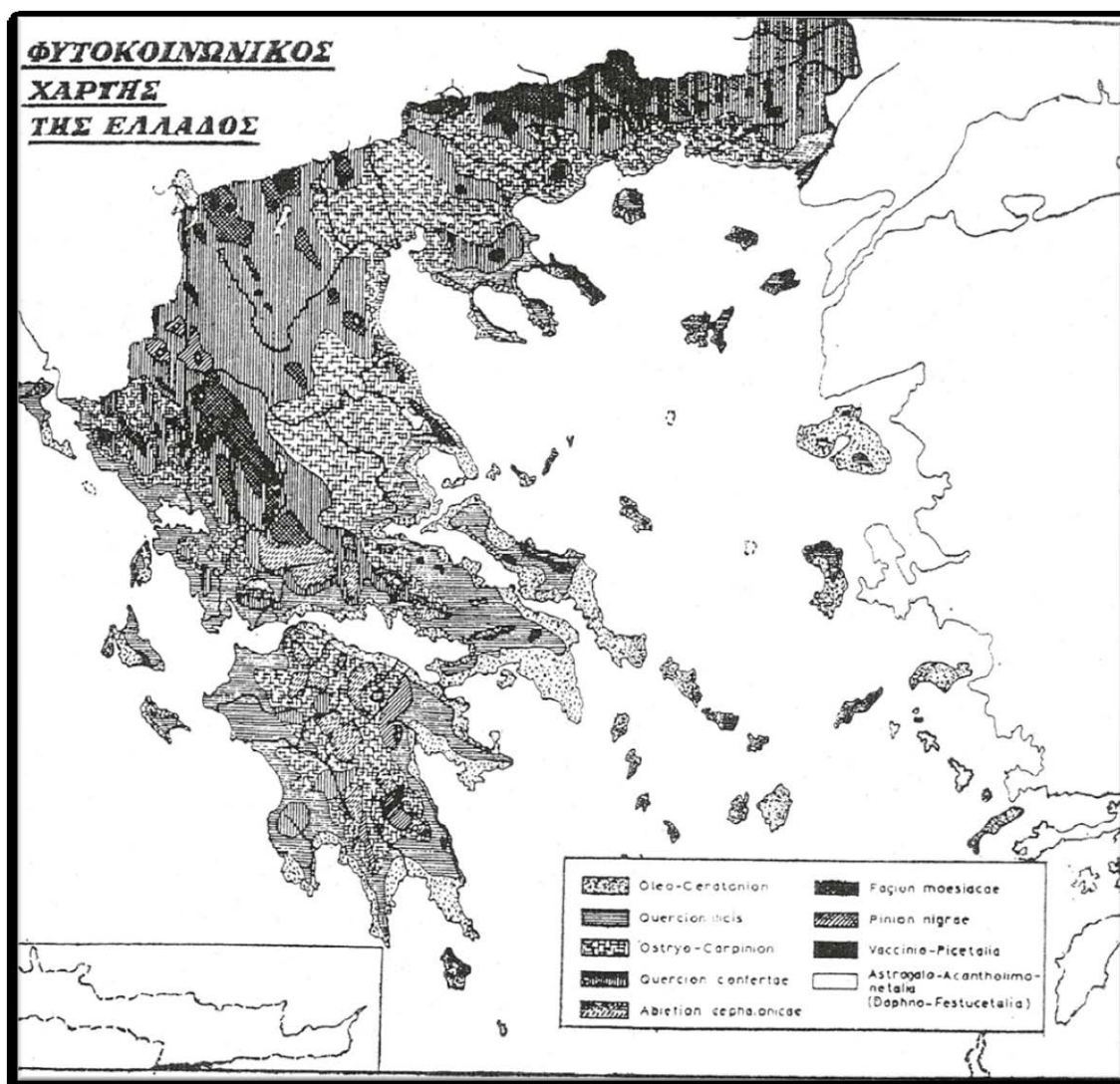
Ειδικότερα, το γεωλογικό πέτρωμα της περιοχής εμπίπτει, σύμφωνα με τις διαχειριστικές μελέτες των δασών που αναφέρθηκαν, στη ζώνη Ωλενού - Πίνδου, που κατά την εποχή των Αλπικών πτυχώσεων αναδύθηκε σε ορεινό όγκο. Χαρακτηρίζεται πετρογραφικά από ορεινές εξάρσεις που συγκροτούνται κυρίως από συμπαγείς

ασβεστόλιθους, κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, μαρμαρυγιακούς, αργιλικούς, πυριτικούς σχιστόλιθους και φυλλίτες.

Το έδαφος, από άποψη σύστασης, χαρακτηρίζεται σαν προϊόν αποσάθρωσης των παραπάνω πετρωμάτων, υπό την επίδραση των παραγόντων της εδαφογένεσης δηλαδή του κλίματος (θερμοκρασία, υγρασία, είδος και ποσότητα κατακρημνισμάτων κ.α.), της βλάστησης (είδος βλάστησης, ποσότητα ξηροτάπητα κ.α.), της γεωμορφολογίας (κλίση, έκθεση) και της ανθρωπογενούς επίδρασης. Κατά τόπους συναντάμε έδαφος αργιλώδες, αμμοαργιλλώδες, αργιλλοαμμώδες, αργιλοπηλώδες, χαλικώδες με λεπτόκοκκη έως χονδρόκοκκη σύσταση. Το βάθος του ποικίλει από πολύ βαθύ έως αβαθές ανάλογα από την κλίση, την έκθεση και την ύπαρξη βλάστησης, ενώ τα γονιμότερα εδάφη συναντούνται σε ήπιες κλίσεις και βόρειες εκθέσεις.

Από άποψη βλάστησης, ανακαλύπτουμε ένα ιδιαίτερο "μωσαϊκό" ζωνών δασικής βλάστησης που εναλλάσσονται μεταξύ τους ανάλογα το υψόμετρο. Σύμφωνα με τον Αθανασιάδη (1985), στην παρούσα περιοχή διακρίνουμε τρεις ζώνες βλάστησης έτσι όπως δίνονται από το Σ. Ντάφη που χρησιμοποιεί τις ανώτερες φυτοκοινωνικές μονάδες του συστήματος Braun - Blanquet (τάξη, σύνδεσμος, φυτοκοινωνία).

Συγκεκριμένα και σύμφωνα με το φυτοκοινωνικό χάρτη που ακολουθεί (εικόνα 5) στα χαμηλότερα υψόμετρα και κατά μήκος των ακτών συναντάμε την Ευμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia ilicis*), με τις υποζώνες Oleo - Ceratonion (αυξητικό χώρος Oleo - lentiscentum) και *Quercion ilicis* (αυξητικός χώρος *Adrachno - Quercetum ilicis*) και την Ορεινή - Υπαλπική ζώνη δασών Οξιάς - Ελάτης και ορεινών παραμεσόγειων κωνοφόρων (*Fagetalia*), με υποζώνη την *Abieton cephalonicae*.



Εικόνα 5: Φυτοκοινωνικός χάρτης Ελλάδος κατά Ντάφη (πηγή: Αθανασιάδης, 1985)

Τα δασικά είδη που τις χαρακτηρίζουν είναι κατά σειρά, για την πρώτη ζώνη: *Olea europaea* var. *silvestris* (Αγριοελιά), *Pistacia lentiscus* (Σχίνος), *Erica manipuliflora* (Ερείκι), *Myrtus communis* (Μυρτιά), *Quercus coccifera* (Πουρνάρι), *Lonicera etrusca* (Λονίκερα), *Rosa sempervirens* (Ρόδη αιθαλής), *Smilax aspera* (Αρκουδόβατος), *Styrax officinalis* (Στύραξ φαρμακευτικός) κ.τ.λ, για την δεύτερη ζώνη: *Erica manipuliflora* και *Erica arborea*, *Arbutus unedo* (Κουμαριά), *Calycotome villosa* (Ασπάλαθος), *Spartium junceum* (Σπάρτο), *Quercus ilex* (Αριά), *Fraxinus ornus* (Φράξος), *Phillyrea latifolia* (Φιλλύκι), *Quercus pubescens* (Δρυς χνοώδης) κ.τ.λ, ενώ τέλος στην τρίτη ζώνη κυριαρχεί η *Abies borisii regis* (Υβριδογενής Ελάτη) (Αθανασιάδης, 1986).

Τα παραπάνω είδη δασικής βλάστησης διαμορφώνουν ένα πολυμορφικό και παραγωγικό οικοσύστημα, τόσο από άποψη παραγωγής βιομάζας όσο και οικονομική, δεδομένου ότι ετησίως έχουμε απόληψη μεγάλου όγκου προϊόντων ξύλου (τεχνητή ξυλεία και καυσόξυλα). Ταυτόχρονα, καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας της Όθρυος μη επιτρέποντας την διαβρωτική δράση του νερού, συγκρατούν και διευκολύνουν την διήθηση του νερού στο έδαφος εμπλουτίζοντας τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, δεσμεύουν το CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα και αλλάζουν το μικροκλίμα της περιοχής.

Ανεξαρτήτως της μεγάλης περιβαλλοντικής αξίας του δασικού συμπλέγματος που "φιλοξενείται" στο συγκεκριμένο ορεινό όγκο, το εν λόγω δασικό οικοσύστημα αποτελεί μάρτυρα ενός αρχέγονου φυσικού δάσους υψηλής αισθητικής αξίας τοπίου.

Βασικό κριτήριο επιλογής της περιοχής ως αντικείμενο μελέτης είναι η μεγάλη οικολογική της αξία και η μη ορθολογική διαχείριση της. Συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται φαινόμενα λαθροϋλοτομιών, υπερβόσκησης και αλλαγών χρήσεων γης δασικών εδαφών, γεγονότα που επιβάλλουν την άμεση εποπτεία, την εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης των δασών και την λήψη απαραίτητων δασοκομικών χειρισμών με σκοπό την διατήρηση του εν λόγω οικοσυστήματος.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

Κρίσιμο σημείο, στη παρούσα εφαρμογή, αποτελεί η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων. Όπως προαναφέρθηκε, τα πρωτογενή δεδομένα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στις ποσότητες ξυλώδους όγκου ή βιομάζας και στις ψηφιακές εικόνες του δορυφόρου LandSat 7.

Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφεται ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας τους, ώστε να πραγματοποιηθεί ο ζητούμενος στόχος.

3.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Βασική προϋπόθεση, για την ορθή συλλογή πρωτογενών δεδομένων είναι η αναγνώριση της περιοχής μελέτης και η καταγραφή των βασικών χαρακτηριστικών της. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με την παρατήρηση της συνολικής περιοχής μελέτης και την απογραφή των ιδιαιτεροτήτων της.

Αρχικά, για την καλύτερη διαχείριση του δασικού συμπλέγματος κρίνεται απαραίτητη η διαίρεση του σε επιμέρους διαχειριστικές μονάδες, τμήματα και υποτμήματα δηλαδή, τα όρια των οποίων μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά, όπως ρέματα, κορυφογραμμές ή στη συγκεκριμένη περίπτωση τα φυσικά όρια των διαφορετικών ειδών βλάστησης. Έτσι, διακρίνουμε στην περιοχή τρεις βασικές διαχειριστικές μονάδες:

1. την διαχειριστική κλάση Ελάτης: Χαρακτηρίζεται από υψηλά δάση, ομήλικα, αμιγή, νεαρής έως ώριμης ηλικίας, πυκνής συγκόμωσης, χωρίς υποόροφο ή με ορισμένες συναθροίσεις νεαρών ατόμων σε κατάσταση πυκνοφυτείας, κατά τόπους. Τη συναντάμε σε μεγαλύτερα υψόμετρα, καλύπτει το μικρότερο σε έκταση τμήμα της οροσειράς της Όθρυος, ενώ εμφανίζει μεγαλύτερη συγκέντρωση στη περιοχή του Πετροκάναλου (τοπική ονομασία) κάτω από την κορυφή Γκιούζι. Διακρίνεται για την παραγωγή ξύλου χαμηλού βαθμού σκληρότητας, κατάλληλο για οικοδομική χρήση και για επενδύσεις σε εσωτερικούς χώρους, δυστυχώς όμως ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται για την παραγωγή καυσόξυλων,

2. την διαχειριστική κλάση Δρυός: Αποτελείται από σταθερές συστάδες νεαρών έως ωριμότερων ατόμων, ομήλικες ανά σταθμό, συναντάται σε μορφή αμιγών δασών με

μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό συγκόμωσης. Καταλαμβάνει τη δεύτερη μεγαλύτερη σε έκταση επιφάνεια της περιοχής μελέτης και απαντάται σε περιοχές μέσου ύψους όπου συναντά τα κατώτερα όρια της διαχειριστικής κλάσης Ελάτης. Αρκετά παραγωγικές συστάδες που όμως διαχειρίζονται στη πλειοψηφία τους για παραγωγή καυσόξυλων που καλύπτουν τις ανάγκες για θέρμανση των κατοίκων των ορεινών περιοχών. Η περιοχή που καταλαμβάνουν βοσκείται από μεγάλα ζώα, κυρίως βοοειδή και ελάχιστα αιγοπρόβατα και

3. την διαχειριστική κλάση Αείφυλλων Πλατύφυλλων: Αυτή με τη σειρά της καλύπτει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, συναντάται σε περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο και χαμηλότερους ποιοτικούς σταθμούς εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις. Καλύπτει περιοχές με μεγάλες κλίσεις ενώ παρουσιάζει έντονο βαθμό εξάπλωσης με υψηλό παραγωγικό δυναμικό αφού αποτελείται από ταχυαυξή είδη, κυρίως πουρνάρι. Έχει πυκνή συνήθως συγκόμωση και μεγάλη περιβαλλοντική αξία μιας και προφυλάσσει από τις διαβρωτικές δυνάμεις των κλιματικών συνθηκών, εδάφη είδη φτωχά σε θρεπτικά συστατικά, αβαθή που βοσκούνται σε μεγάλο βαθμό από αιγοπρόβατα.

Για τη λήψη λοιπόν των δεδομένων βιομάζας απαραίτητη κρίνεται η εφαρμογή μιας συστηματικής δειγματοληψίας που παρέχει τη δυνατότητα εγκατάστασης δοκιμαστικών επιφανειών και στις τρεις διαχειριστικές κλάσεις που αναφέραμε. Η καταλληλότερη μέθοδος δειγματοληψίας για την λήψη δεδομένων πεδίου στο ιδιαίτερο περιβάλλον της περιοχής μελέτης μας είναι η στρωματομένη τυχαία δειγματοληψία, η οποία με τη σειρά της εξασφαλίζει ότι το δείγμα μας απλώνεται σε όλη την περιοχή μελέτης και διαιρεί τον πληθυσμό σε διάφορα ομοιογενή τμήματα, εντός των οποίων γίνεται η εγκατάσταση των δοκιμαστικών επιφανειών, ώστε να μειωθεί το σφάλμα και ο συντελεστής διακύμανσης (Bautista, 2012).

Το παραπάνω είδος συστηματικής δειγματοληψίας προτείνεται σε κάθε περίπτωση που ο πληθυσμός του δείγματός μπορεί να διαιρεθεί σε 2, 3..., Λ τμήματα, τα οποία αποτελούνται από όμοιες μονάδες, όσον αφορά το χαρακτηριστικό που ερευνούμε. Τα τμήματα αυτά λέγονται στρώματα και κάθε μονάδα του πληθυσμού μας θα πρέπει αναγκαστικά να ανήκει σε ένα και μόνο στρώμα ενώ δεν πρέπει να υπάρχουν μονάδες πληθυσμού που να μην ανήκουν σε κάποιο από τα στρώματα που διακρίναμε. Μέσα σε αυτά τα στρώματα προχωράμε σε τυχαία δειγματοληψία ώστε το τελικό δείγμα μας να

αποτελεί στρωματωμένο τυχαίο δείγμα και η μέθοδος που ακολουθήσαμε στρωματωμένη τυχαία δειγματοληψία (Μάτης, 2003).

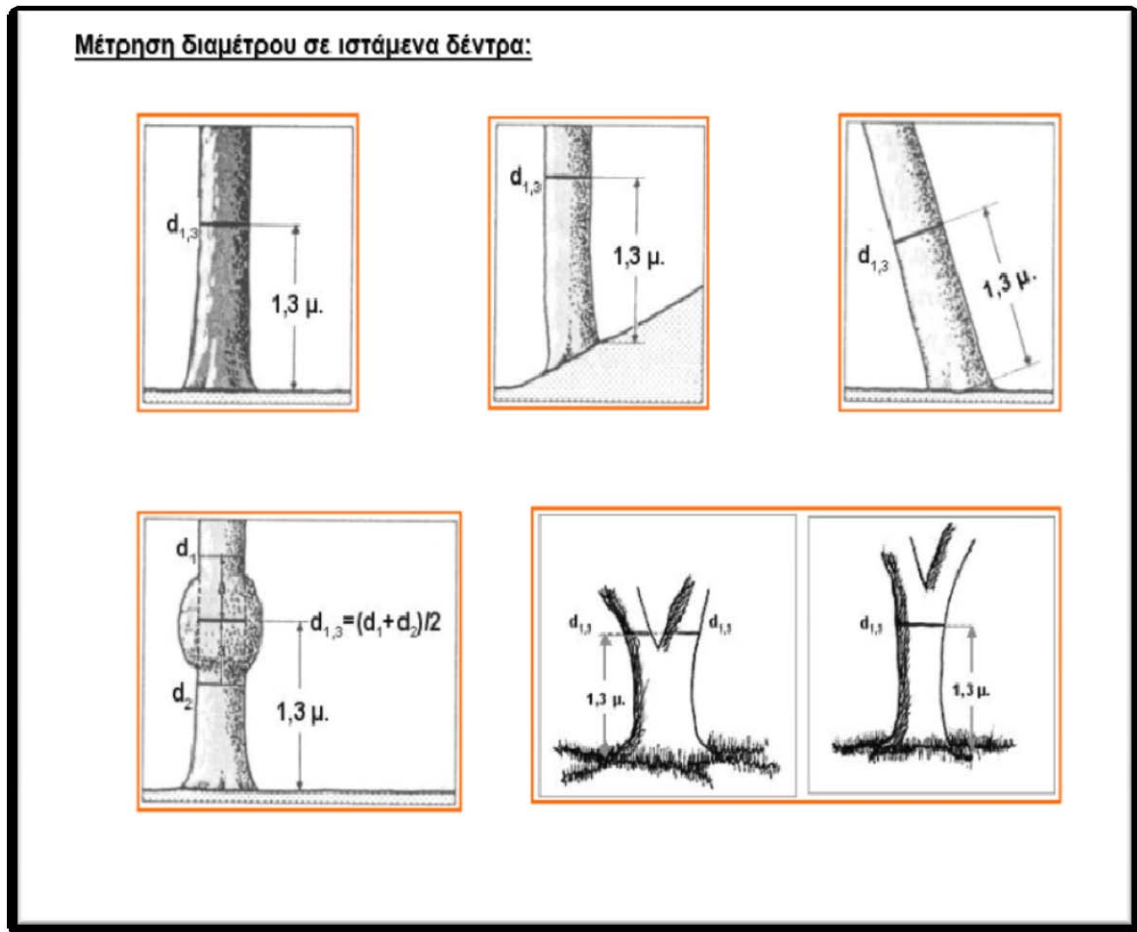
Με βάση τα παραπάνω και αφού αναγνωρίσαμε τα τρία μεγάλα τμήματα στα οποία οφείλαμε να εγκαταστήσουμε τις δοκιμαστικές μας επιφάνειες, προχωρήσαμε σε συλλογή δεδομένων.

Αρχικά, αναγνωρίστηκε η περιοχή στην οποία θα γινόταν η εγκατάσταση της κάθε δοκιμαστικής επιφάνειας. Μεγάλη προσοχή δόθηκε, ώστε οι δοκιμαστικές επιφάνειες που επιλέχθηκαν να ανταποκρίνονται στην μέση πραγματική κατάσταση των δασικών συστάδων που ανήκουν. Κριτήρια αποτέλεσαν η ηλικία των ατόμων, η πυκνότητα τους καθώς και η κλίση. Στην συνέχεια, επιλέχθηκε ένα κεντρικό δένδρο γύρω από το οποίο σχηματίστηκε τετράγωνη επιφάνεια διαστάσεων 10*10μ., προσέχοντας πάντα να ανταποκρίνεται στη μέση κατάσταση της υφιστάμενης βλάστησης. Με χρήση κορδέλας προσημάνθηκε η περίμετρος της δοκιμαστικής επιφάνειας και μέσω ενός GPS χειρός λήφθηκαν οι συντεταγμένες της δειγματοληπτικής επιφάνειας, ώστε να είναι δυνατή η γεωαποικόνιση της σε ένα χάρτη. Η ίδια μέτρηση πραγματοποιήθηκε και στις γωνίες του τετραγώνου κάθε δοκιμαστικής επιφάνειας, ώστε να εξαιρεθεί κάθε πιθανότητα λάθους.



Εικόνα 6: Λήψη συντεταγμένων δοκιμαστικής επιφάνειας με τη χρήση GPS χειρός

Ακολούθησε η παχυμέτρηση όλων των ιστάμενων δένδρων εντός της δειγματοληπτικής επιφάνειας. Με πορεία από τα ανάντη προς τα κατόντη της δοκιμαστικής επιφάνειας, μετρήθηκε με τη χρήση δασικού παχυμέτρου η στηθιαία διάμετρος όλων των ιστάμενων δένδρων. Ο όρος στηθιαία διάμετρος, ανταποκρίνεται στη διάμετρο που έχει ο κορμός ενός δένδρου σε ύψος 1.10μ. - 1.30μ. περίπου από το έδαφος, όπως δείχνει η εικόνα 7.



Εικόνα 7: Στηθιαία διάμετρος (πηγή: Εργαστήριο Δενδρομετρίας, τμήμα Δασοπονίας και διαχείρισης φυσικού περιβάλλοντος, Δράμα, 2013)

Το ύψος αυτό είναι ενδεικτικό και επιλέγεται διότι σε αυτό το ύψος περίπου εξαλείφεται η επίδραση του ριζικού συστήματος όσο αφορά την πάχυνση του κορμού και είναι δυνατή η ακριβέστερη η μέτρηση της διαμέτρου του.



Εικόνα 8: Παχυμέτρηση ιστάμενων δένδρων (πηγή: Ιδία φωτογράφιση)

Η παχυμέτρηση έγινε σε βαθμίδες διαμέτρου των 2 εκατοστών όλων των δένδρων που έχουν στηθαία διάμετρο πάνω από 10 εκατοστά και καταχωρήθηκαν στο ειδικό έντυπο δοκιμαστικών επιφανειών του παραρτήματος, στις αντίστοιχες κλάσεις διαμέτρου. Στη κλάση διαμέτρου I καταχωρήθηκαν τα άτομα με διάμετρο 10εκ. έως 20εκ., στη II κλάση τα άτομα με διάμετρο 21 εκ. έως 34εκ., στη III κλάση τα δένδρα με στηθαία διάμετρο 35εκ. έως 50 εκ. και στην IV τα άτομα με διάμετρο πάνω από 50 εκατοστά (στήλη 3 ειδικού εντύπου). Στη συνέχεια για κάθε ένα δένδρο συμπληρώθηκε (στήλη 5) η κυκλική του επιφάνεια σύμφωνα με το πίνακα κυκλικής επιφάνειας του παραρτήματος.

Η κυκλική επιφάνεια (g) είναι μία ποσότητα η οποία συνήθως μετριέται έμμεσα και αντιστοιχεί στο εμβαδό της εγκάρσιας διατομής του δένδρου στο ύψος της στηθαίας διαμέτρου. Ο υπολογισμός της γίνεται με διάφορες μεθόδους κυρίως όμως χρησιμοποιείται η εκτίμηση της βάσει μιας διαμέτρου από τον τύπο:

$$g = \pi/4 * d^2$$

όπου g : η κυκλική επιφάνεια

π : το 3,14159

d : η διάμετρος σε μέτρα

και μονάδα μέτρησης τα μ^2 (Μάτης, 1994). Ο πίνακας του παραρτήματος προέρχεται από την εφαρμογή των τύπων εκτίμησης της κυκλικής επιφάνειας για κάθε πιθανή διάμετρο ιστάμενων δένδρων.

Επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός των μέσων δοκιμαστικών κορμών που ορίζονται σαν αριθμητικοί μέσοι όροι των κυκλικών επιφανειών κάθε κλάσης διαμέτρου. Τα νούμερα που προέκυψαν, αντιστοιχήθηκαν μέσω του πίνακα κυκλικής επιφάνειας με την διάμετρο που θα έχουν οι δοκιμαστικοί κορμοί για καθεμία διαχειριστική κλάση διαμέτρου και αναζητήθηκαν μέσα στο πλήθος των δένδρων της δοκιμαστικής επιφάνειας όπου και υψομετρήθηκαν με τη χρήση laser αποστασιόμετρου.

Τα παραπάνω στοιχεία, διάμετρος και ύψος δοκιμαστικού κορμού κάθε κλάσης, εισήχθησαν ως ανεξάρτητες μονάδες σε εξισώσεις για τον υπολογισμό του υψομορφάριθμου και του όγκου αντίστοιχα. Ο υψομορφάριθμος είναι μία μεταβλητή η οποία χρησιμοποιείται για την ογκομέτρηση των ιστάμενων δένδρων και δίνεται από τους παρακάτω τύπους, σύμφωνα με το εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής του Ινστιτούτου Δασικής Έρευνας:

1. για την Ελάτη (τύπος του Αναγνωστόπουλου)

$$fh = 1.04623 + 0.361740 * h$$

2. για την Δρυ (τύπος του Αναγνωστόπουλου)

$$fh = 1.24722 + 0.284108 * h$$

3. για τα Αείφυλλα Πλατύφυλλα (τύπος του Αναγνωστόπουλου)

$$fh = 0.413170 + 0.630498 * h - 0.0163865 * h^2$$

4. για τον συνολικό όγκο του δένδρου

$$V = g * fh$$

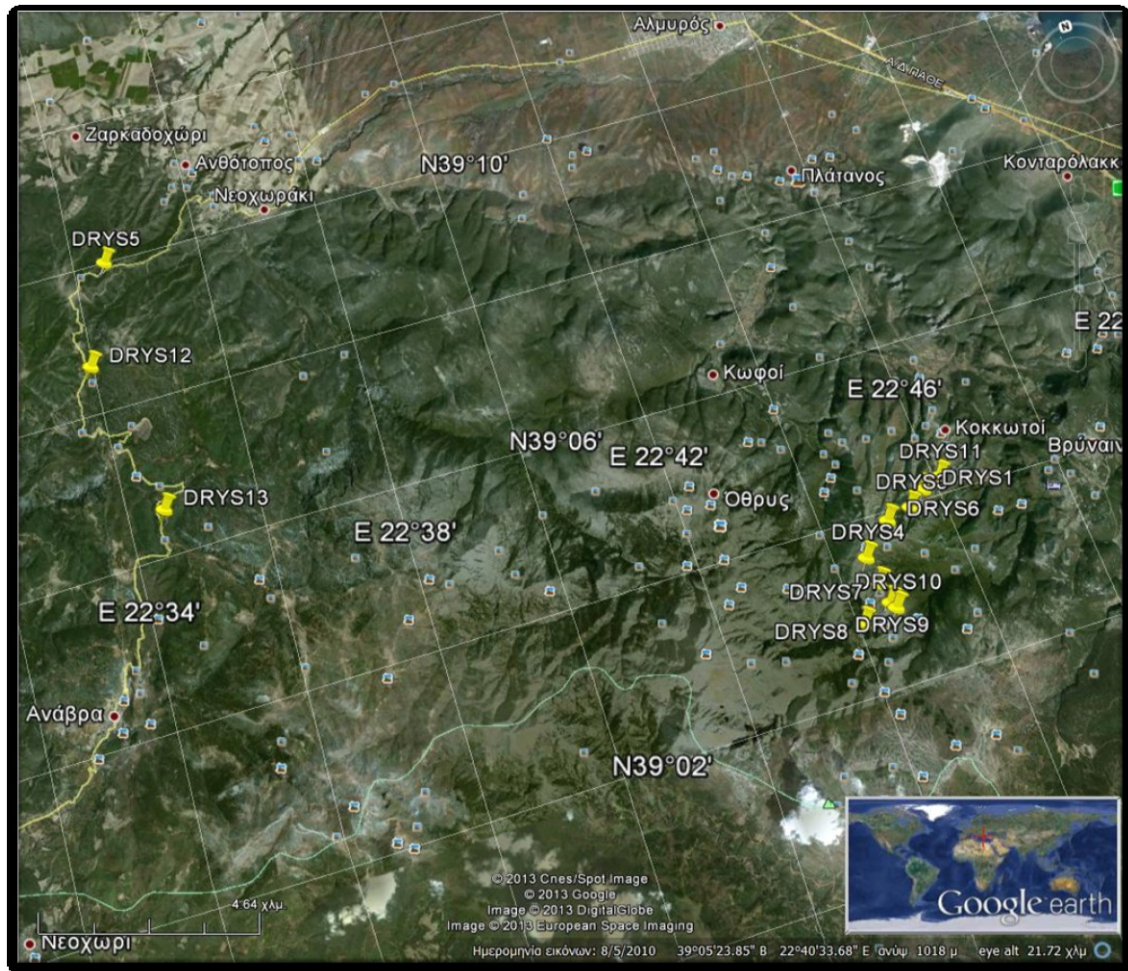
όπου fh : ο υψομορφάριθμος

g : η κυκλική επιφάνεια και

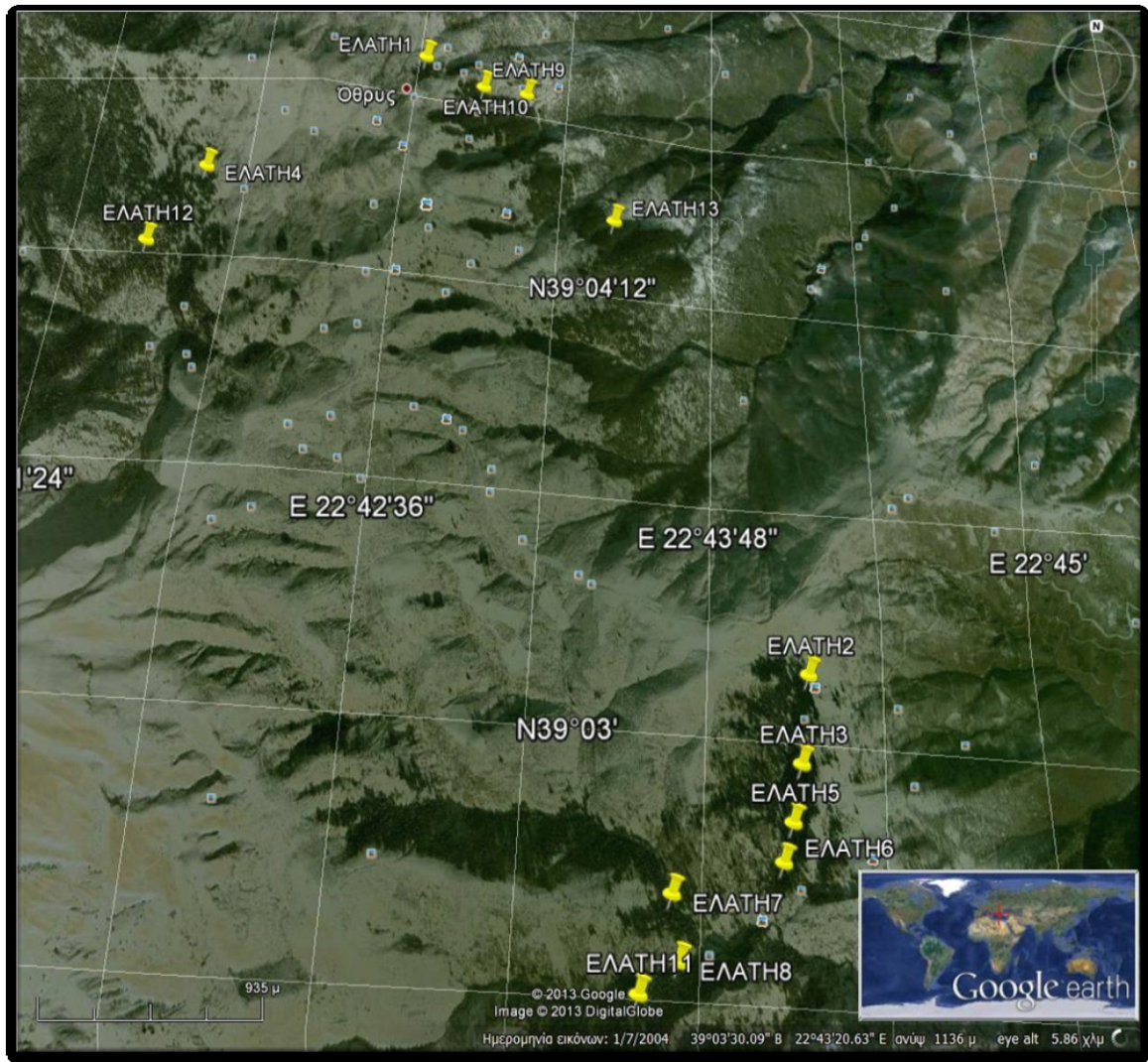
V: ο όγκος

Τέλος, με βάση το τύπο (4) για την εκτίμηση του όγκου των δένδρων, υπολογίστηκε ο όγκος του δοκιμαστικού κορμού, πολλαπλασιάστηκε με το σύνολο των δένδρων που κατεγράφησαν στην κάθε διαχειριστική κλάση διαμέτρου και προσετέθησαν οι επιμέρους όγκοι για να βρεθεί ο συνολικό όγκος που παρουσιάζεται στη δοκιμαστική επιφάνεια. Ταυτόχρονα εκτιμήθηκε ο συνολικός όγκος της βιομάζας που θα περιλαμβάνεται στην επιφάνεια που καταλαμβάνει ένα εικονοστοιχείο των δορυφορικών εικόνων βάσει αναλογίας της επιφάνειας της δοκιμαστικής με αυτή του εικονοστοιχείου.

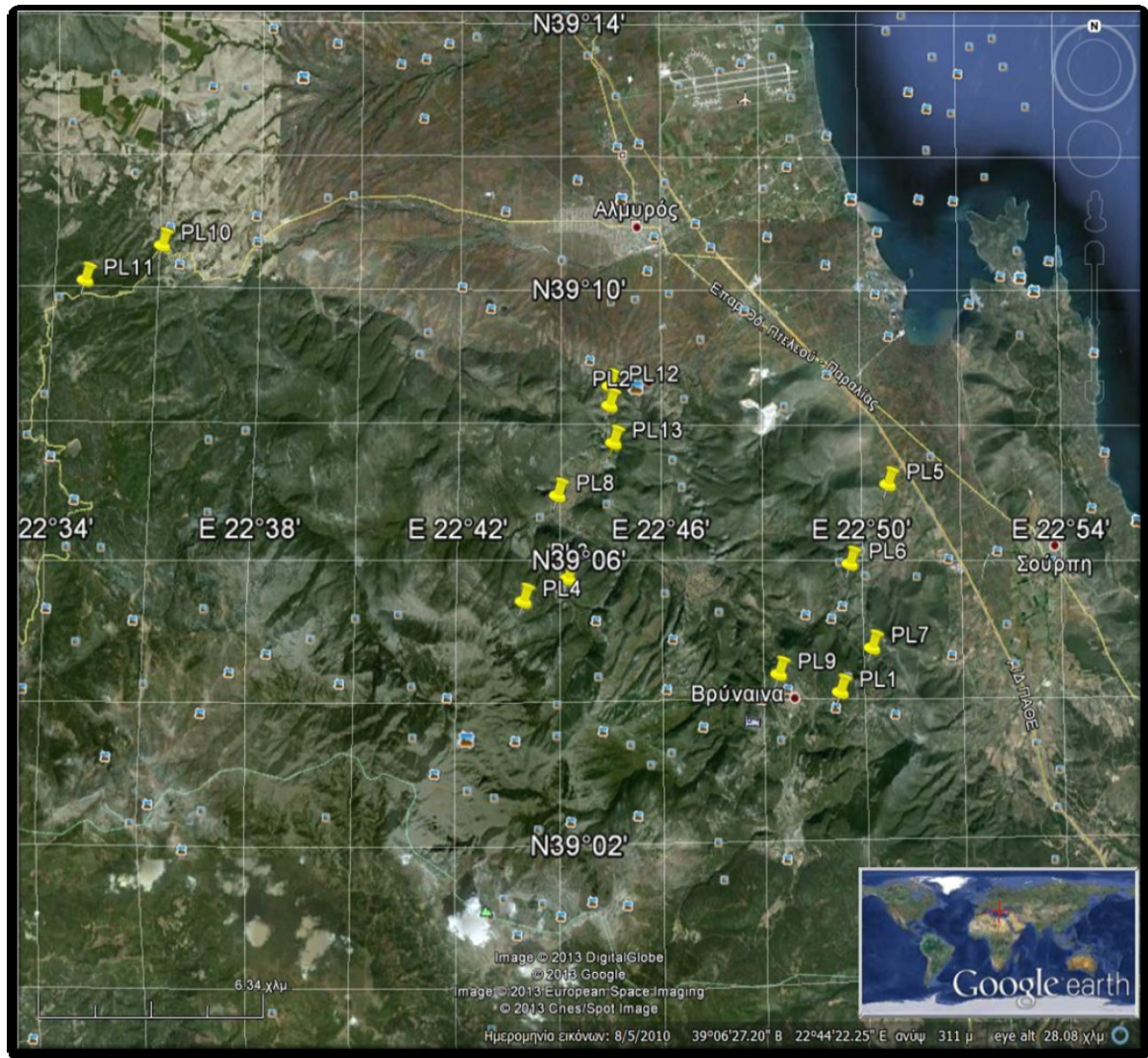
Οι συνολικές δοκιμαστικές επιφάνειες που εγκαταστάθηκαν στη περιοχή μελέτης ανέρχονται στις 39, από τις οποίες 13 αντιστοιχούν σε κάθε διαχειριστική κλάση δασικής βλάστησης. Τα σημεία αυτά, όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες χωροθετήθηκαν με αυτό τον τρόπο, ως αποτέλεσμα της αδρομερούς διάνοιξης της επιφάνειας της οροσειράς της Όθρυος και της συστηματικής λήψης δεδομένων βιομάζας για διάφορες ηλικιακές ομάδες, κλίσεις εδάφους και βαθμούς εδαφοκάλυψης. Η παραπάνω διαδικασία έλαβε χώρα την εποχή του θέρους και συγκεκριμένα τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο του προηγούμενου έτους, ακολουθώντας τις τεχνικές εκπόνησης διαχειριστικών μελετών του ΓΕΩΤ.Ε.Ε.



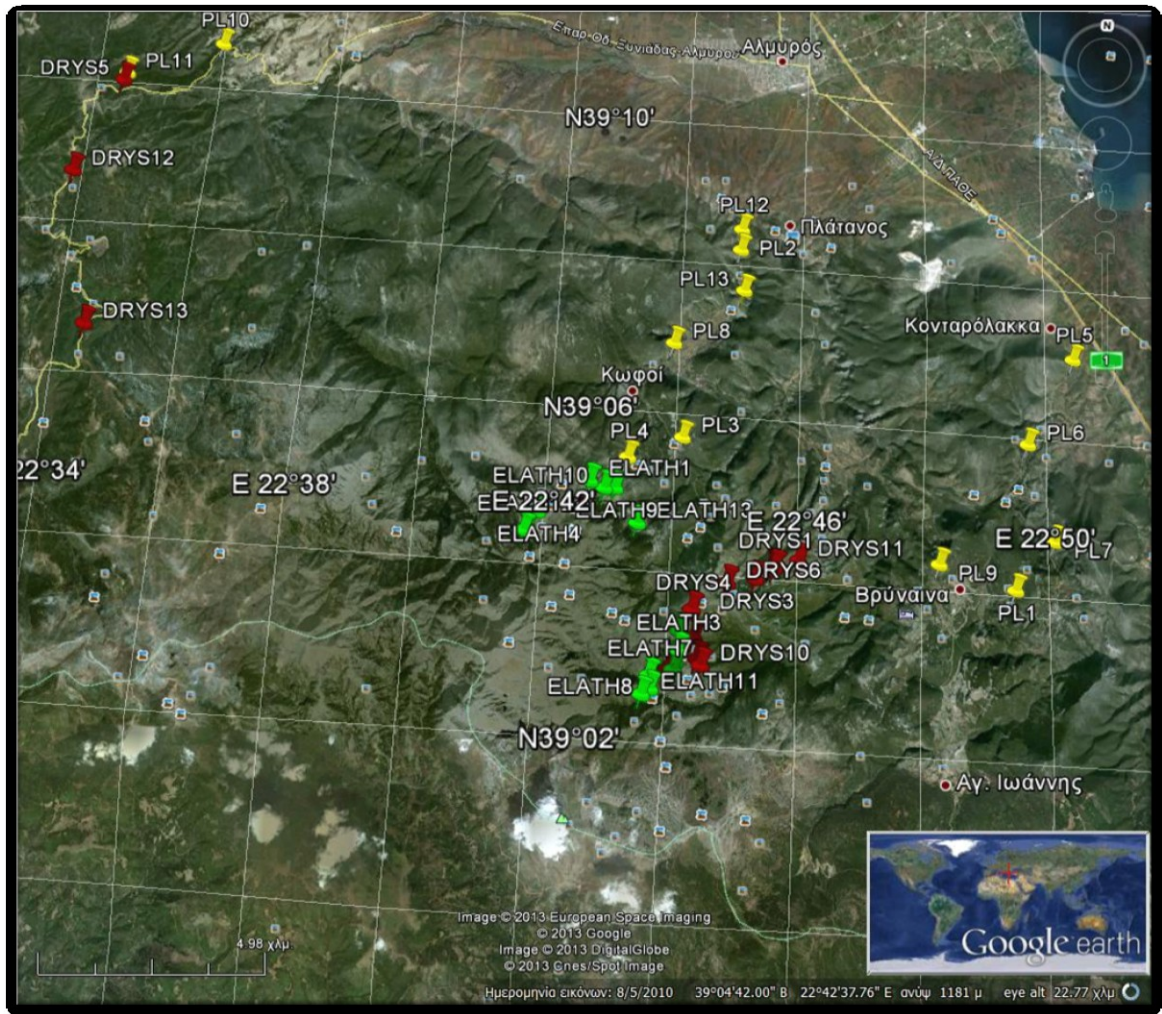
Εικόνα 9: Δοκιμαστικές επιφάνειες διαχειριστικής κλάσης Δρυός μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ίδια επεξεργασία)



Εικόνα 10: Δοκιμαστικές επιφάνειες διαχειριστικής κλάσης Ελάτης μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 11: Δοκιμαστικές επιφάνειες διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλον μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ίδια επεξεργασία)



Εικόνα 12: Κατανομή δοκιμαστικών επιφανειών στην επιφάνεια της οροσειράς Όθρυς μέσα από το λογισμικό του Google Earth (πηγή: Ϊδία επεξεργασία)

Μετά την εφαρμογή της συστηματικής δειγματοληψίας, όπως περιγράφηκε παραπάνω, συλλέχτηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα βιομάζας για καθεμία διαχειριστική κλάση βλάστησης, τα οποία δίδονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Ελάτης

| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΑΣΗΣ ΕΛΑΤΗΣ | | | |
|---|-------------------|-------------------|----------------------------|
| Α/Α | Συντεταγμένη X | Συντεταγμένη Y | Βιομάζα (κ.μ./εικ/χείο) |
| 1 | 22,42374 | 39,04519 | 77,3 |
| 2 | 22,44077 | 39,03077 | 109,08 |
| 3 | 22,44067 | 39,02548 | 222,58 |
| 4 | 22,41509 | 39,04265 | 39,67 |

| | | | |
|----|----------|----------|--------|
| 5 | 22,44052 | 39,02465 | 180,86 |
| 6 | 22,44037 | 39,02409 | 170,6 |
| 7 | 22,43417 | 39,02357 | 148,3 |
| 8 | 22,43434 | 39,02268 | 82,3 |
| 9 | 22,43015 | 39,0448 | 180,6 |
| 10 | 22,42514 | 39,04474 | 90,7 |
| 11 | 22,43357 | 39,02225 | 93,4 |
| 12 | 22,41398 | 39,04124 | 210,62 |
| 13 | 22,4324 | 39,04233 | 176,3 |

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Δρυός

| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΑΣΗΣ ΔΡΥΟΣ | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| A/A | Συντεταγμένη X | Συντεταγμένη Y | Βιομάζα (κ.μ./εικ/χείο) |
| 1 | 22,4533822 | 39,0358224 | 23,9 |
| 2 | 22,4530571 | 39,03582 | 49 |
| 3 | 22,4516135 | 39,0348916 | 124,6 |
| 4 | 22,441827 | 39,032394 | 42 |
| 5 | 22,342354 | 39,09472 | 86,1 |
| 6 | 22,444967 | 39,034414 | 106,3 |
| 7 | 22,442111 | 39,030416 | 36,4 |
| 8 | 22,4358806 | 39,0240788 | 114,5 |
| 9 | 22,442484 | 39,02494 | 28,3 |
| 10 | 22,442857 | 39,024482 | 98,1 |
| 11 | 22,4557852 | 39,0404518 | 78,3 |
| 12 | 22,3330724 | 39,0827082 | 70,4 |
| 13 | 22,342794 | 39,062495 | 77,5 |

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλων

| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΑΣΗΣ ΔΕΙΦΥΛΛΩΝ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| A/A | Συντεταγμένη X | Συντεταγμένη Y | ΒΙΟΜΑΖΑ (κ.μ./ευκ/χείο) |
| 1 | 22,45338 | 39,0358224 | 11,9 |
| 2 | 22,3337 | 39,080307 | 26,5 |
| 3 | 22,44036 | 39,053123 | 10,9 |
| 4 | 22,43127 | 39,0512708 | 8,8 |
| 5 | 22,5027 | 39,065423 | 14,2 |
| 6 | 22,49396 | 39,054452 | 4,1 |
| 7 | 22,50033 | 39,0431008 | 31,5 |
| 8 | 22,4351 | 39,064368 | 11,9 |
| 9 | 22,48117 | 39,040861 | 12,6 |
| 10 | 22,35571 | 39,102436 | 32 |
| 11 | 22,34261 | 39,095331 | 35,3 |
| 12 | 22,44537 | 39,08203 | 25,3 |
| 13 | 22,44577 | 39,0730208 | 22,6 |

Από τα παραπάνω στοιχεία, 12 σε πρώτη φάση για κάθε διαχειριστική κλάση βλάστησης, χρησιμοποιήθηκαν για την "κατασκευή" εξισώσεων πρόβλεψης, οι οποίες θα είναι σε θέση να εκτιμήσουν την αναμενόμενη βιομάζα σε κάθε εικονοστοιχείο της δορυφορικής εικόνας, συνδέοντας ραδιομετρικές τιμές των δορυφορικών εικόνων που αντιστοιχούν στο δείκτη βλάστησης με ποσά βιομάζας. Ενώ, η εναπομένουσα 1 δοκιμαστική επιφάνεια θα χρησιμοποιηθεί στο τέλος για τον υπολογισμό της απόκλισης των αποτελεσμάτων των παραπάνω εξισώσεων από την πραγματική τιμή της δασικής βιομάζας.

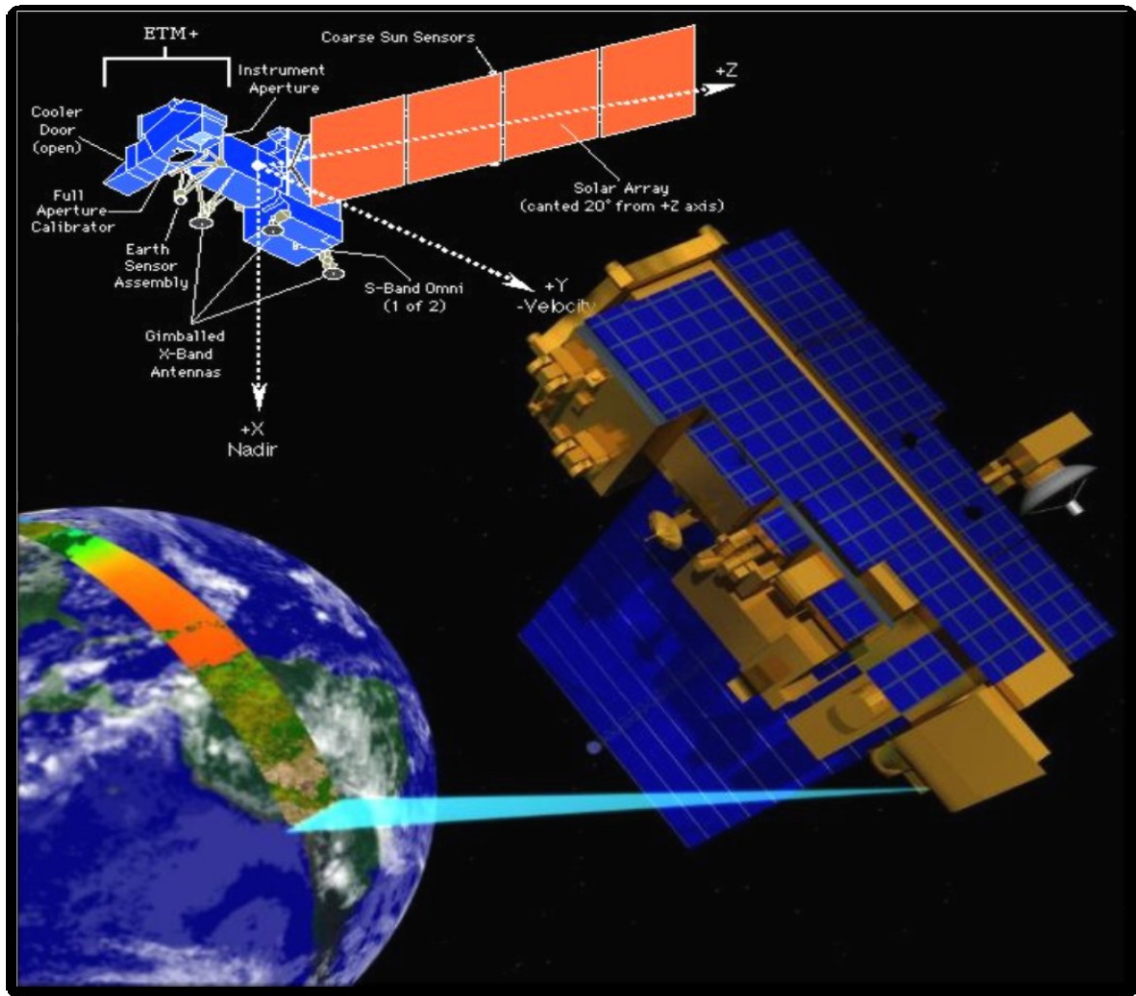
3.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Οι δορυφορικές εικόνες, χρησιμοποιούνται σήμερα σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών εφαρμογών συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης της παγκόσμιας αποδάσωσης,

της εκτίμησης της υγρασίας του εδάφους, της παρακολούθησης της ανεξέλεγκτης καταστροφής των πυρκαγιών και της αξιολόγησης της αλλαγής των χρήσεων γης με την πάροδο του χρόνου (Merry et al, 2001).

Στη παρούσα έρευνα γίνεται χρήση των εν λόγω δεδομένων, που αποτελούν λήψεις της επιφάνειας της περιοχής ενδιαφέροντος από δορυφόρο LandSat 7 (πηγή: en.wikipedia.org, 2013, Δ). Ο δορυφόρος LandSat 7 έχει την ικανότητα να συλλέγει και να μεταδίδει μέχρι και 532 εικόνες ανά ημέρα. Βρίσκεται σε πολική, ήλιο-σύγχρονη τροχιά, που σημαίνει ότι σαρώνει όλη την επιφάνεια της γης από ύψος 705 χιλιομέτρων (+ / - 5 χιλιομέτρα) εντός 16 ημερών ή 232 τροχιών, με κλίση 98,2 μοίρες.

Το κύριο μέσο καταγραφής της επιφάνειας της γης επί του σκάφους LandSat 7 είναι ο Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος (ETM +), ο οποίος αποδίδει εικόνες διαστάσεων 170 χλμ.* 185 χλμ. με διακριτική ανάλυση 30 μέτρα ανά εικονοστοιχείο. Η ποιότητα των δεδομένων που παράγονται από αυτόν είναι εξαιρετική, ιδίως όσον αφορά τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά τους, τη γεωμετρία των εικόνων, τη γεωγραφική καταγραφή και την επαναλαμβανόμενη κάλυψη των ηπειρωτικών και παράκτιων περιοχών παγκοσμίως (Goward et al, 2001).



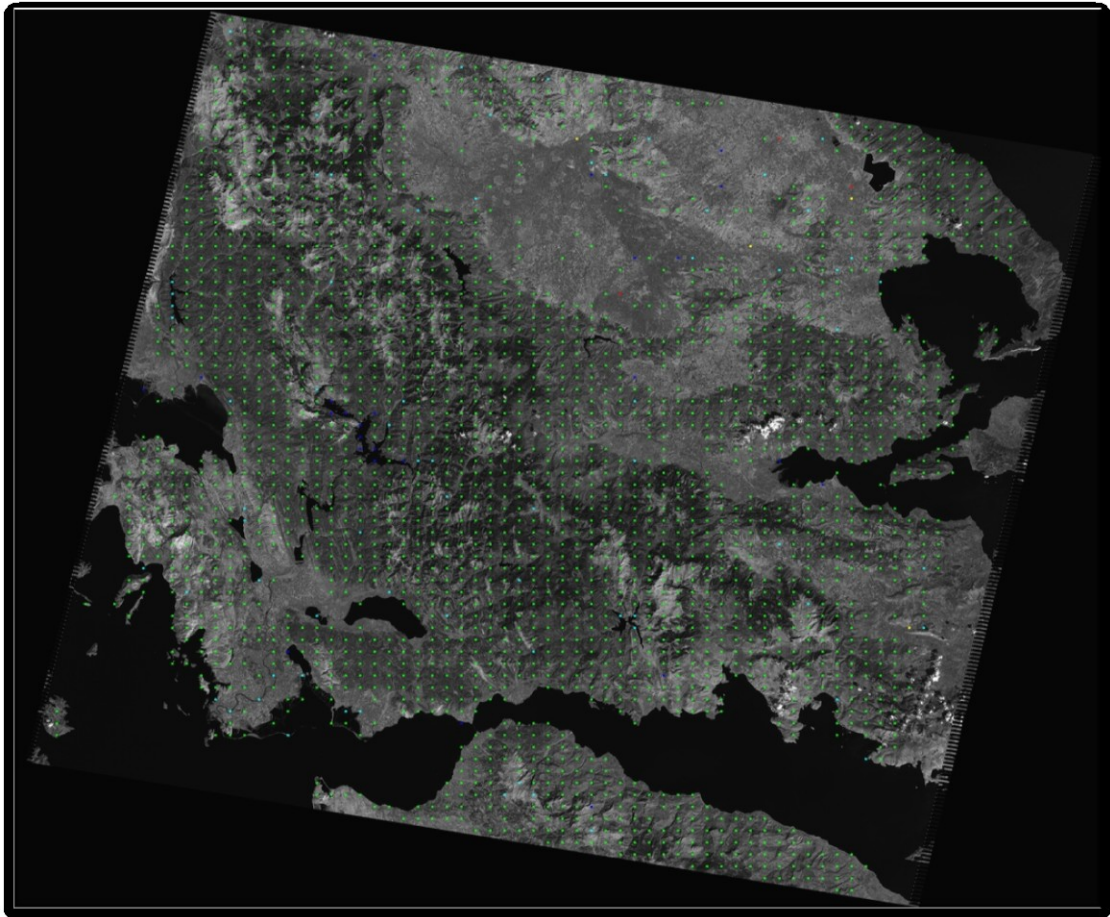
Εικόνα 13: Δορυφόρος LandSat 7 (πηγή: Τμήμα Γεωγραφίας του UCSB, 2013)

Περιλαμβάνει 8 φασματικές ζώνες καταγραφής (κανάλια), συμπεριλαμβανομένου μιας πανχρωματικής και μιας θερμικής ζώνης, τα χαρακτηριστικά των οποίων αναγράφονται στο πίνακα 4 που ακολουθεί (USGS).

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ενισχυμένου θεματικού χαρτογράφου (πηγή: NASA, 2013)

| Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος + (ETM+) | LandSat 7 | Μήκος Κύματος Καταγραφής (μμ.) | Ανάλυση (μ.) |
|---|-----------|-----------------------------------|-----------------|
| | Κανάλι 1 | 0,45-0,515 | 30 |
| | Κανάλι 2 | 0,525-0,605 | 30 |
| | Κανάλι 3 | 0,63-0,69 | 30 |
| | Κανάλι 4 | 0,75-0,90 | 30 |
| | Κανάλι 5 | 1,55-1,75 | 30 |
| | Κανάλι 6 | 10,4-12,5 | 60 |
| | Κανάλι 7 | 2,09-2,35 | 30 |
| | Κανάλι 8 | 0,52-09 | 15 |

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, ανακτήθηκαν από τον επιστημονικό οργανισμό USGS¹, έχουν ημερομηνία λήψης 23/09/2011 και αντιστοιχούν στο 184 μονοπάτι, σειρά 033 της τροχιάς καταγραφής του δορυφόρου LandSat 7. Καταγράφεται δε, σε αυτές ένα αρκετά μεγάλο τμήμα των Περιφερειακών Ενοτήτων Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας καθώς και η περιοχή μελέτης μας.



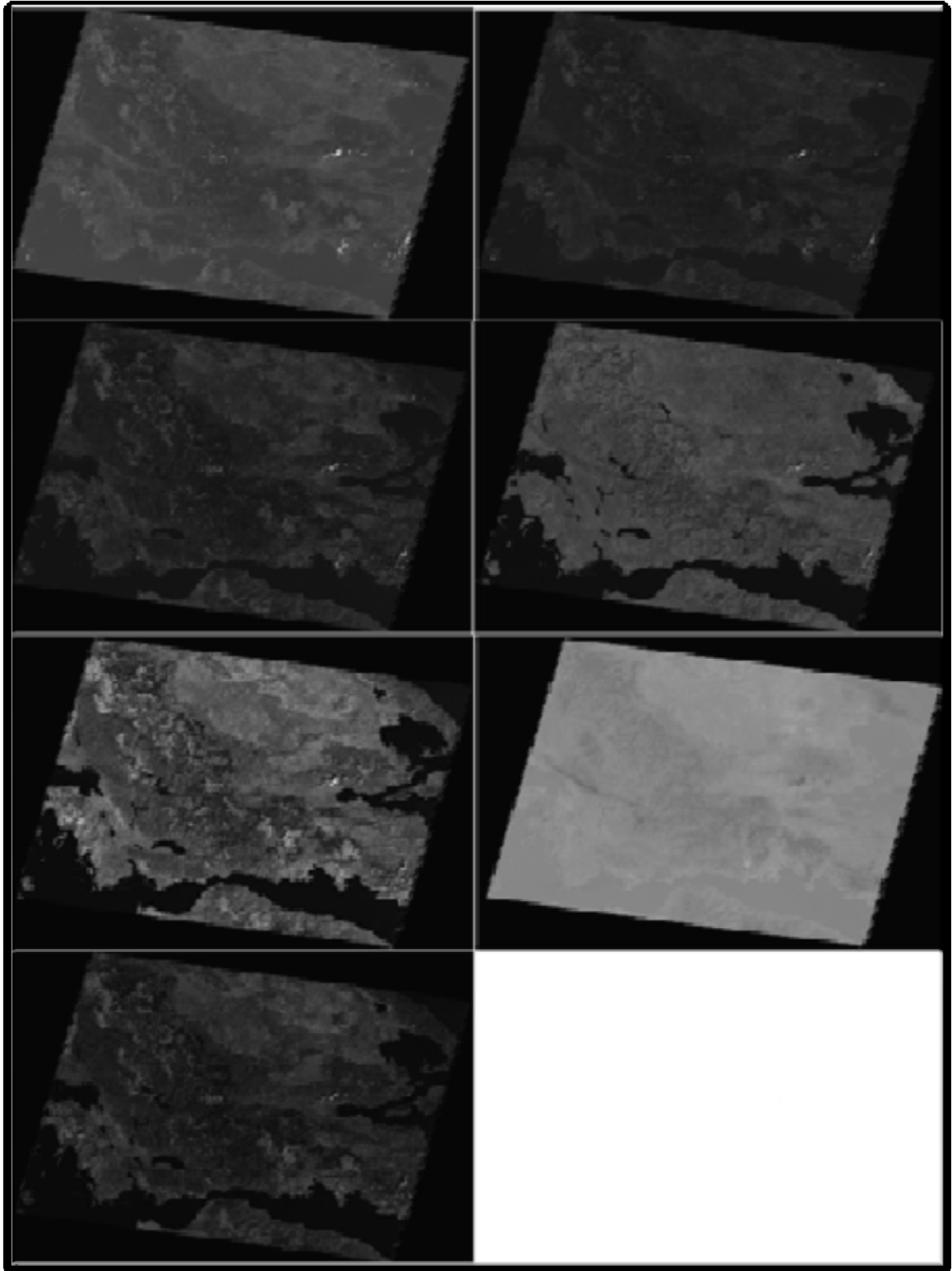
Εικόνα 14: Δορυφορική εικόνα περιφερειακών ενοτήτων Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας (πηγή: USGS, 2011)

3.2.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Για να είναι δυνατή η εκμαίευση αξιόπιστων πληροφοριών από τις δορυφορικές και η συσχέτιση τους με τις επίγειες μετρήσεις βιομάζας, κρίθηκε απαραίτητη η κατάλληλη προεπεξεργασία τους.

¹ Η USGS είναι μια οργάνωση που παρέχει αμερόληπτες έγκαιρες, σχετικές, και αξιοποιήσιμες πληροφορίες σχετικά με την υγεία των οικοσυστημάτων και το περιβάλλον μας, τους φυσικούς κινδύνους που μας απειλούν, τους φυσικούς πόρους, τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος και της αλλαγής της χρήσης γης κτλ.

Το σύνολο του σταδίου προεπεξεργασίας περιλαμβάνει τη συγχώνευση των ψηφιακών αρχείων - εικόνων των 7 καναλιών (εικόνα 15) του δορυφόρου και γεωμετρικές διορθώσεις με εισαγωγή εναλλακτικού προβολικού συστήματος αναφοράς.



Εικόνα 15: Ψηφιακές εικόνες των 7 φασματικών καναλιών του δορυφόρου LandSat 7 (πηγή: USGS, 2011)

Τα αρχεία αυτά με τη μορφή geotiff, δηλαδή tiff εικόνες με χαρτογραφικές και γεωδαιτικές πληροφορίες, ενσωματώθηκαν σε μια πανχρωματική εικόνα μέσω του λογιστικού πακέτου Erdas Imagine. Η εικόνα που προέκυψε παρουσιάζει την περιοχή καταγραφής με ένα πιο ρεαλιστικό τρόπο τουλάχιστον όσο αφορά την χρωματική σύνθεσή της.



Εικόνα 16: Πανχρωματική δορυφορική εικόνα της οροσειράς Όθρυς (πηγή: USGS, 2011)

Στη συνέχεια, έγινε μετατροπή του υπάρχοντος προβολικού συστήματος αναφοράς σε ένα εναλλακτικό, κοινό για όλα τα δεδομένα, που θα κάλυπτε τις χωρικές συσχετίσεις τόσο των φυσικών αντικειμένων που καταγράφονται στις δορυφορικές εικόνες όσο και των δοκιμαστικών επιφανειών που ελήφθησαν στην περιοχή μελέτης.

Ως προβολικό σύστημα αναφοράς επιλέχθηκε το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 87), αλλάζοντας το ήδη υπάρχον προβολικό σύστημα αναφοράς, αφού οι εικόνες που είχαμε στη κατοχή μας ήταν ήδη γεω-αναφερμένες βάσει του UTM της ζώνης 34 και του Datum WGS 84.

3.2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Το παρόν στάδιο περιλαμβάνει τις διαδικασίες επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, ταξινόμηση, φασματικές υπογραφές και δείκτη βλάστησης, για την παραγωγή των απαραίτητων δεδομένων για την πλήρωση του σκοπού της παρούσας έρευνας.

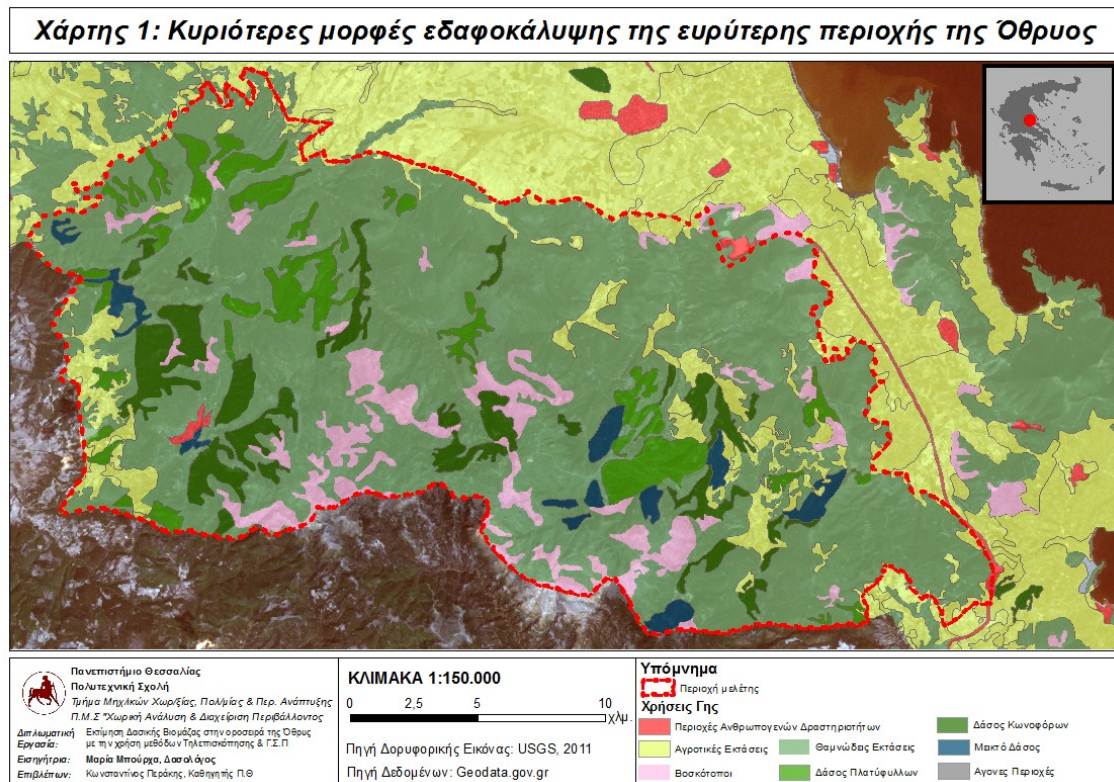
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Με την παραδοχή πως η περιοχή μελέτης αποτελεί ένα αχανές μωσαϊκό πολλαπλών μορφών βλάστησης που δεν διαθέτουν καθορισμένα και σαφή όρια διάκρισης, θεωρήθηκε επιβεβλημένη η υποτυπώδης εφαρμογή μιας ταξινόμησης των στοιχείων που καταγράφονται στην πανχρωματική εικόνα. Σύμφωνα με τον Μερτίκα (2006), ο όρος ταξινόμηση αναφέρεται σε εκείνη την μέθοδο της πολυδιάστατης στατιστικής που αποσκοπεί στον διαχωρισμό των αντικειμένων μέσω της καταχώρισης τους σε δύο ή περισσότερες ομάδες και η επιλογή ενός κατάλληλου αλγορίθμου που κάνει δυνατή την παραπάνω διάκριση. Η ταξινόμηση δε μίας ψηφιακής εικόνας, περιλαμβάνει τη αντιστοίχιση των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε ομάδες που χαρακτηρίζονται από τις ίδιες ιδιότητες.

Η εν λόγω διαδικασία γίνεται εφικτή μέσω του λογισμικού πακέτου Erdas Imagine και της δημιουργίας ενός αρχείου-προτύπου χρήσεων γης που βασίζεται στις διακρίσεις των χρήσεων γης του Corine Land Cover 2000. Το Corine Land Cover (Buttner et al, 2004) είναι η μεγαλύτερη βάση δεδομένων για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης. Το εν λόγω πρόγραμμα τέθηκε σε εφαρμογή το 1985 έως και το 1990, όπου και δημιουργήθηκε το πρώτο σύστημα πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση του Ευρωπαϊκού περιβάλλοντος, αρχικά σε 13 χώρες εταίρους της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης. Μετά τη σύσταση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) και την ίδρυση του Ευρωπαϊκού δικτύου πληροφοριών και παρατηρήσεων (EIONET) δόθηκε μεγάλη σημασία στη επικαιροποίηση των βάσεων δεδομένων που είχαν δημιουργηθεί, μέσω ψηφιακών εικόνων που είχαν αποκτηθεί από την καταγραφή της επιφάνειας της γης από δορυφόρους. Τέλος η απογραφή ολοκληρώθηκε από μια σειρά χρηστών που εργάστηκαν σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο για την ανάγκη της συνεχούς ενημέρωσης της βάσης για τυχόν αλλαγές σε όλα τα χωρικά επίπεδα.

Το παραπάνω πρόγραμμα αποτελείται από δύο κύρια συστατικά, τα οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους:

- το IMAGE2000, που καλύπτει όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την απόκτηση δορυφορικών εικόνων, την απαιτούμενη ορθο-διόρθωση και την παραγωγή ευρωπαϊκών και εθνικών ψηφιδωτών και
- το CLC2000, που καλύπτει όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την ενημέρωση της πρώτης απογραφής CLC (CLC90) με βάση το IMAGE2000 και την ανίχνευση και ερμηνεία των αλλαγών των αρχικών καλύψεων γης χρησιμοποιώντας τα αρχικά CLC90 και IMAGE90.



Χάρτης 1: Κυριότερες μορφές εδαφοκάλυψης της ευρύτερης περιοχής της Δ. Ε. Αλμυρού (πηγή: Ίδια επεξεργασία)

Σύμφωνα με τον παραπάνω χάρτη χρήσεων γης, στη περιοχή συναντάμε διάφορες κατηγορίες ή ομάδες μορφών κάλυψης εδάφους. Διακρίνονται δε αδρομερώς, σε αστικό ή ανθρωπογενές περιβάλλον, αγροτικές καλλιέργειες διαφόρων γεωργικών προϊόντων, ελαιώνες, οπωρώνες, λιβάδια ή λειμώνες, θαμνώνες ή θαμνότοπους, δασικό περιβάλλον διαφόρων δασοκομικών μορφών και βλάστησης.

Οι παραπάνω κατηγορίες χρήσεων γης συγκεντρώθηκαν σε 7 νέες κατηγορίες και αποτέλεσαν το αρχικό στάδιο δημιουργίας ενός αρχείου - προτύπου, δηλ ενός καταλόγου λιγότερου εκτενή, βάσει του οποίου προχωρήσαμε στην ανάδειξη των κυριότερων χρήσεων γης της περιοχής μελέτης και στην ομαδοποίηση όλων των αντικειμένων που καταγράφονται στη αντίστοιχη δορυφορική εικόνα. Οι ευρύτερες αυτές ομάδες παρατίθενται στο πίνακα 5 που ακολουθεί.

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

| Ενδεικτική κατηγορία χρήσης γης | Κατηγορίες χρήσεις γης κατά Corine 2000 |
|-----------------------------------|--|
| Ανθρωπογενές περιβάλλον | Αστικό περιβάλλον, περιοχές ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, οδικό δίκτυο, λατομεία, αεροδρόμια, οικισμοί. |
| Υδάτινο Περιβάλλον | Θαλάσσιο μέτωπο, χείμαρροι, ποταμοί . |
| Αγροτικές εκτάσεις ή καλλιέργειες | Ελαιώνες, εκτάσεις εσπεριδοειδών, αγροτικές μονοκαλλιέργειες |
| Βοσκότοποι | Λιβάδια ή λειμώνες |
| Θαμνώδεις εκτάσεις | Θαμνώνες, εκτάσεις σκληροφυλλικής βλάστησης, θαμνότοποι |
| Δάσος Πλατύφυλλων | Δάση Δρυός, Πλατάνων, Λευκών, Καστανιάς |
| Δάσος Κωνοφόρων | Ελάτης, Πεύκης |
| Μεικτό Δάσος | Δρυός και Ελάτης, μεταβατική ζώνη βλάστησης |
| Άγονες περιοχές | Γυμνά εδάφη και βραχώδεις σχηματισμοί |

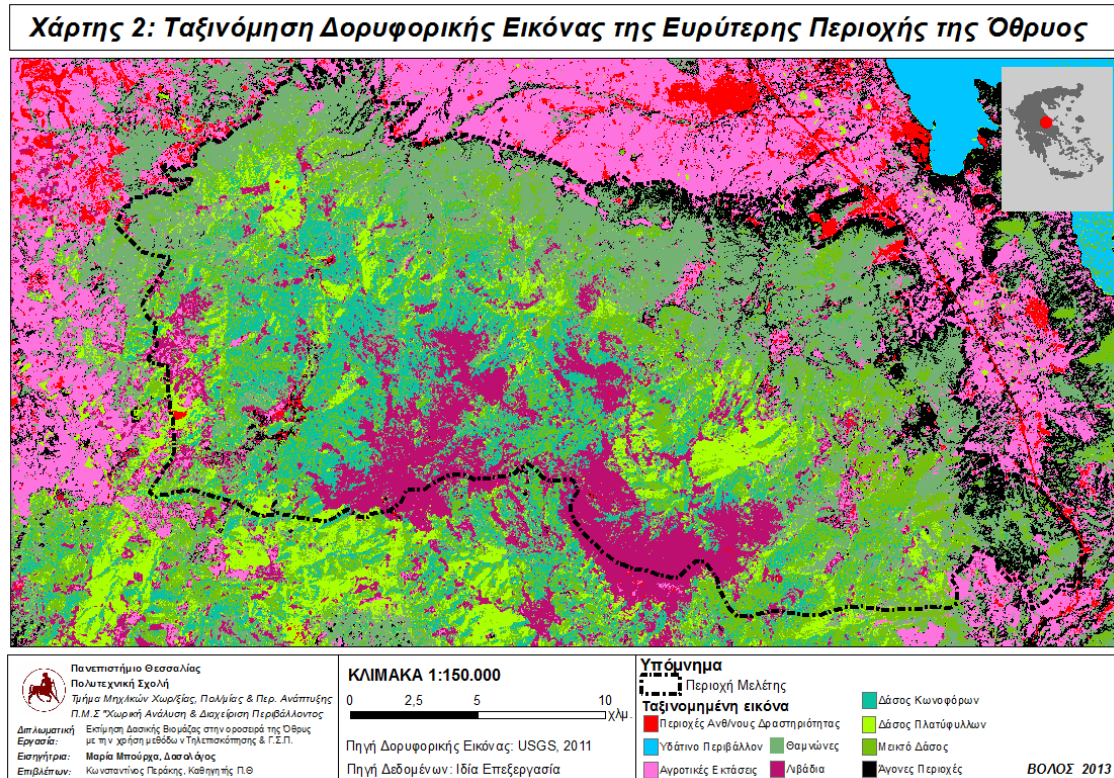
Η παραπάνω διάκριση κατηγοριών των χρήσεων γης είναι ενδεικτική και εξυπηρετεί για την εφαρμογή της Ταξινόμησης των δορυφορικών εικόνων.

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες ταξινόμησης των ψηφιακών δεδομένων Τηλεπισκόπησης, η αυτόματη (unsupervised classification) και η καθοδηγούμενη (supervised classification) ταξινόμηση. Στη δεδομένη μελέτη γίνεται χρήση της δεύτερης μεθόδου, δηλαδή της καθοδηγούμενης ταξινόμησης.

Η συγκεκριμένη μέθοδος (Μερτίκας, 2006) ορίζεται ως η διαδικασία χρήσης δειγμάτων εδαφικής κάλυψης στην εικόνα που είναι γνωστά με σκοπό την ταξινόμηση των υπολοίπων εικονοστοιχείων, που θεωρητικά είναι άγνωστη η φύση της εδαφολογικής τους κάλυψης, αναλόγως της φασματικής τους ιδιότητας. Η μεθοδολογία της συγκεκριμένης ταξινόμησης ακολουθεί 6 βασικά βήματα:

- **Σχεδιασμός.** Καθορίζονται τα σύνολα των διαφόρων μορφών κάλυψης του εδάφους που αποτελούν τις τάξεις πληροφορίας όπως δάση, αγροτικές καλλιέργειες, άγονο έδαφος, αστικό περιβάλλον, υδάτινο περιβάλλον κ.α.
- **Προετοιμασία επεξεργασίας.** Ομαδοποιούνται τα στοιχεία των τάξεων, στη συγκεκριμένη περίπτωση οι τάξεις προέρχονται από τη κατηγοριοποίηση των διαφόρων καλύψεων γης του Corine 2000.
- **Επιλογή πεδίων εκπαίδευσης του αλγόριθμου.** Επιλέγονται αντιπροσωπευτικές ψηφίδες της δορυφορικής εικόνας, οι οποίες θα αποτελέσουν τα πεδία εκπαίδευσης του αλγορίθμου. Αυτό γίνεται μέσω επιλογής τυχαίων πολυγώνων που εμπεριέχουν ψηφίδες αντιπροσωπευτικές για κάθε κατηγορία χρήσης γης και προσδιορίζουν τις φασματικές υπογραφές τους (Perakis et al, 2000).
- **Ταξινόμηση εικόνας.** Εφαρμογή της καθοδηγούμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα εκπαίδευσης και τις διαθέσιμες τεχνικές ομαδοποίησης των εικονοστοιχείων της εικόνας. Στην συγκεκριμένη μελέτη εφαρμόζεται η τεχνική της μέγιστης πιθανοφάνειας, η οποία είναι μία παραμετρική μέθοδος που βάσει μίας κατανομή (συνήθως Gaussian κατανομή) κατατάσσει κάθε εικονοστοιχείο χωριστά σε μια μεγαλύτερη τάξη ή ομάδα ανάλογα την τιμή που φέρει κάθε εικονοστοιχείο και τη μέγιστη πιθανότητα να ανήκει σε αυτήν (Keuchel et al, 2003).
- **Συμπλήρωση επεξεργασίας.** Εφαρμογή φίλτρων ή γεωμετρικών διορθώσεων ώστε να εξαλειφτούν τυχόν ατέλειες.
- **Αξιολόγηση της ακρίβειας.** Σύγκριση αποτελεσμάτων της ταξινόμησης με εδαφικές επαληθεύσεις.

Μετά την εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας, παράχθηκε ένα νέος ψηφιακός θεματικός χάρτης από τον οποίο εξάγονται ένα πλήθος πληροφοριών που έχουν σχέση με την ιδιότητα της κάλυψης της γης που φέρει καθένα ξεχωριστά εικονοστοιχείο.



Χάρτης 2: Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της ευρύτερης περιοχής της ορ. Όθρυς

Ο χάρτης 2 που προηγείται, παρουσιάζει τα είδη ή τις μορφές εδαφοκάλυψης που κυριαρχούν στον ορεινό όγκο της Όθρυος. Ειδικότερα, η πλειονότητα της ορεινής έκτασης της Όθρυος καταλαμβάνεται από θαμνώδεις περιοχές σκληροφυλλικής βλάστησης, κυρίως σε χαμηλότερα υψόμετρα. Όσο ανερχόμαστε σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο, η βλάστηση εναλλάσσεται σε μερικώς δασοσκεπή και δασική, με κυρίαρχα είδη τη Δρυ και την Ελάτη. Η δασική κάλυψη καταλαμβάνει περιοχές που κυμαίνονται από 600μ. έως 1.200 μ. περίπου για την Δρυ και από 1.000μ. έως 1.200μ. για την Ελάτη αντίστοιχα. Οι ορεινές εκτάσεις άνω των 1.200μ. χαρακτηρίζονται από χαμηλή και αραιή βλάστηση, αποτελούν ορεινά βοσκοτόπια και η συνέχεια τους διακόπτεται από τεράστιους βραχώδεις σχηματισμούς.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Συμπληρωματικά με τη διαδικασία ταξινόμησης, ελέγχθηκε και ο βαθμός ακρίβειας της. Η διαδικασία αποτίμησης της ακρίβειας μας δίνει τη δυνατότητα εποπτείας ορισμένων καίριων σημείων της διαδικασίας όπως είναι η φτωχή διαχωριστικότητα μεταξύ κάποιων τάξεων. Ο βαθμός ακρίβειας ελέγχθηκε με βάση τη κατανομή των διαφόρων σημείων σύμφωνα με τη βάση πληροφοριών του Corine 2000. Ο συνολικός

βαθμός ακρίβειας ανήλθε στο 88% και κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητικός ενώ παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 6 με τα ποσοστά ακρίβειας και το συντελεστή κ (kappa statistics) για κάθε μία γενική κατηγορία ή ομάδα κατάταξης μεμονωμένα.

Πίνακας 6: Πίνακας ακρίβειας διαδικασίας Ταξινόμησης

| Κατηγορία Εδαφ/ψης | Σημεία Αναφοράς ανά Κατηγορία | Ορθά Ταξινομημένα Σημεία | Ποσοστό Ακρίβειας | Συντελεστής Καρρα |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|
| Τεχνητές Επιφάνειες | 2 | 2 | 100.00% | 1.000 |
| Υδάτινες Επιφάνειες | 12 | 12 | 100.00% | 1.000 |
| Αγροτικές Εκτάσεις | 10 | 10 | 100.00% | 0.7115 |
| Φυσικά Λιβάδια | 3 | 1 | 33.33% | 0.4681 |
| Θαμνότοποι | 14 | 12 | 85.71% | 0.8932 |
| Δάση Πλατύφυλλων | 2 | 2 | 100.00% | 0.6528 |
| Δάση Κωνοφόρων | 2 | 1 | 50.00% | 1.000 |
| Μικτά Δάση | 3 | 2 | 66.67% | 1.000 |
| Άγωνα Εδάφη | 2 | 2 | 100.00% | 1.000 |
| Σύνολο | 50 | 44 | 88% | 0.8512 |

Ιδανικός συντελεστής για τον χαρακτηρισμό μιας ταξινόμησης Ν στοιχείων σε Λ κατηγορίες αποτελεί ο συντελεστής Καρρα του Cohen (Vieira, 2010). Ο συντελεστής Καρρα εισήχθη για πρώτη φορά από τον Cohen το 1960 ως μέτρο συμφωνίας μεταξύ των παρατηρητών της ψυχολογικής συμπεριφοράς. Ο υπολογισμός των τιμών του δείκτη δίνεται από τον τύπο:

- $K = \frac{\Pr(a) - \Pr(e)}{1 - \Pr(e)}$.

όπου

$\Pr(a)$ είναι η συνολική πιθανότητα συμφωνίας και

$\Pr(e)$ είναι η τυχαία πιθανότητα συμφωνίας με τα παρατηρούμενα δεδομένα.

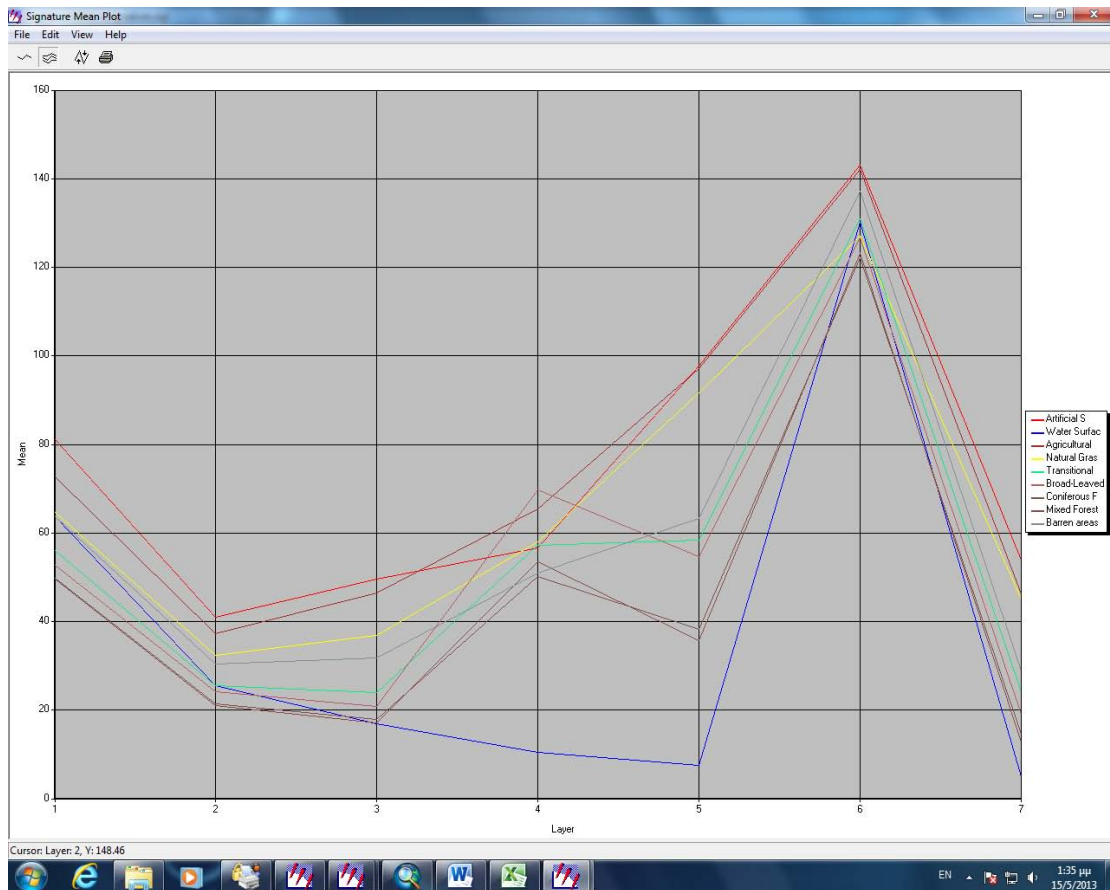
Οι τιμές του δείκτη kappa κυμαίνονται από 0, για μικρή συμφωνία μεταξύ των παρατηρητών, έως 1, για πλήρη συμφωνία.

Σύμφωνα με τον πίνακα 6, οι τιμές του kappa συντελεστή φτάνουν έως και την τιμή 1, ικανοποιώντας έως ένα βαθμό τη θεώρηση για μία ακριβή ταξινόμηση. Τέσσερις όμως κατηγορίες, αυτές των αγροτικών περιοχών, φυσικών λιβαδιών, θαμνώνων και δάση πλατύφυλλων, εμφανίζουν τιμές συντελεστή kappa χαμηλότερες του 1 και συγκεκριμένα από 0,46 έως 0,89. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν πως ο χάρτης των προσομοιωμένων καλύψεων γης για το 2000 απέφυγε μόλις το 49% έως 89% των σφαλμάτων, για τις συγκεκριμένες κατηγορίες, που θα είχε μια εντελώς τυχαία ταξινόμηση. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στη φύση των συγκεκριμένων κατηγοριών. Οι αγροτικές περιοχές και οι εκτάσεις που χρησιμοποιούνται ως λιβάδια στη συγκεκριμένη εποχή λήψης των δορυφορικών εικόνων, παρουσιάζουν παρόμοιες φασματικές αποκρίσεις δεδομένης της έλλειψης ή ελάχιστης ύπαρξης φυτικής μάζας στην επιφάνεια του εδάφους. Ενώ όσο αφορά τα δάση των πλατύφυλλων και τους θαμνότοπους αρκεί μόνο να αναφέρουμε πως στην ευρύτερη περιοχή της Όθρυος και οι δύο αυτές κατηγορίες καλύπτονται από είδη που ανήκουν στην ίδια οικογένεια βλάστησης, αυτή της Δρυός (*Quercus* sp).

ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

Παράλληλα με τη διαδικασία ταξινόμησης, παρήχθησαν και οι φασματικές υπογραφές. Οι φασματικές υπογραφές είναι ένας ειδικός συνδυασμός της εκπεμπόμενης, ανακλώμενης ή απορροφημένης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (EM) σε διάφορα μήκη κύματος που μπορούν να προσδιορίσουν μοναδικά ένα αντικείμενο. Αναπαριστούνται σε μορφή γραφήματος ή καμπύλης των τιμών ανάκλασης διαφόρων αντικειμένων σε συγκεκριμένα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Vikesh et al, 2010). Η φασματική υπογραφή ενός αντικειμένου είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο όχι μόνο εξελίσσεται στο χρόνο, αλλά εξελίσσεται σε σχέση με την οπτική γωνία, τη θέση του ήλιου, τις μετεωρολογικές συνθήκες και την κατάσταση της ατμόσφαιρας (Guyot, 1983).

Οι φασματικές υπογραφές προκύπτουν από το μέσο όρο των ραδιομετρικών τιμών των εικονοστοιχείων που ανήκουν και αντιπροσωπεύουν τις συγκεκριμένες κατηγορίες χρήσης γης που έχουμε διακρίνει (Περάκης, 1999).



Εικόνα 17: Φασματικές υπογραφές μορφών εδαφοκάλυψης (πηγή: Ίδια επεξεργασία)

Στο διάγραμμα που προηγήθηκε (εικόνα 17) ξεκάθαρα παρουσιάζεται η ιδιότητα των επιφανειών που έχουν οποιαδήποτε δασοπονική μορφή να συμπεριφέρονται ομοίως όσο αφορά την ανάκλαση ή απορρόφηση των διαφόρων τμημάτων του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η διαφορά έγκειται στην ποσότητα της ανακλώμενης ή απορροφόμενης ακτινοβολίας. Έμφαση πρέπει να δοθεί και στο γεγονός ότι η φασματική καμπύλη που αντιστοιχεί στη κατηγορία του μεικτού δάσους ακολουθεί ή προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό αυτήν του κωνοφόρου δάσους. Αυτό συμβαίνει διότι στις εν λόγω περιοχές η ελάτη σαν δασικό είδος εμφανίζει ένα κυρίαρχο χαρακτήρα αναφορικά με το ποσοστό συμμετοχής της στη σύνθεση των μεικτών δασών.

Η παραπάνω ιδιότητα δεν εμποδίζει την διάκριση των συγκεκριμένων ή όλων των κατηγοριών μεταξύ τους μιας και κάθε είδος βλάστησης έχει μια μοναδική φασματική υπογραφή η οποία καθιστά κανό τον άμεσο διαχωρισμό της από άλλους τύπους εδαφοκάλυψης σε μια εικόνα. Το πράσινο τμήμα των φυτών έχει τη ιδιότητα να απορροφά ισχυρά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο ορατό μέρος του φάσματος και συγκεκριμένα στο μπλε και στο κόκκινο όπου και εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές

(Kokaly et al, 2007). Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω των φωτοχρωστικών ουσιών που περιέχονται στο φύλλο (χλωροφύλλη, σάκχαρα κ.α.). Ταυτόχρονα, το ίδιο τμήμα των φυτών ανακλά ισχυρά στο κοντινό υπέρυθρο μέρος του φάσματος (0.76-0.90 μm). Κατά συνέπεια, στο ερυθρό η φασματική υπογραφή της βλάστησης παρουσιάζει ελάχιστο, ενώ στο εγγύς υπέρυθρο παρουσιάζει τοπικό μέγιστο. Η αντίθεση (διαφορά) μεταξύ της ανάκλασης στο ερυθρό και στο κοντινό υπέρυθρο είναι μια ευαίσθητη μέτρηση της ποσότητας της βλάστησης. Έτσι, τα τηλεσκοπικά δεδομένα από το ερυθρό (RED) και το εγγύς υπέρυθρο (NIR) μπορούν να συνδυαστούν και να αποτελέσουν τους λεγόμενους δείκτες βλάστησης (vegetation indices) (Ρούσσου, 2009).

3.2.3 ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Η δημιουργία των δεικτών βλάστησης σχεδόν συμπίπτει χρονικά με την αρχή των προγραμμάτων δορυφορικής παρατήρησης της επιφάνειας της γης και την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου LandSat. Οι εν λόγω δείκτες προέκυψαν ύστερα από παρατηρήσεις που κατεδείκνυαν ένα μεγάλο βαθμό συσχέτισης μεταξύ της ποσότητας, της κατανομής και της υφής της βλάστησης με τα κανάλια καταγραφής του δορυφόρου στο κόκκινο τμήμα του ορατού φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στο εγγύς υπέρυθρο. Οι διαφορετικοί συνδυασμοί αυτών των καναλιών ονομάζονται δείκτες βλάστησης (Bannari et al, 1995).

Διακρίνονται σε δυο κύριες κατηγορίες (Silleos et al, 2006): 1. στους δείκτες βλάστησης που βασίζονται στην κλίση και 2. σε αυτούς που βασίζονται στην απόσταση. Οι δείκτες βλάστησης της πρώτης κατηγορίας είναι απλοί αριθμητικοί συνδυασμοί που εστιάζουν στην αντίθεση των προτύπων των φασματικών αποκρίσεων της βλάστησης στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αντίθετα, η δεύτερη ομάδα εκτιμά την παρουσία ή ύπαρξη της βλάστησης μετρώντας την διαφορά της ανάκλασης του κάθε εικονοστοιχείου από την αντίστοιχη τιμή στη περίπτωση του γυμνού εδάφους.

Σε αυτές τις δυο κατηγορίες δεικτών μπορεί να προστεθεί και μια άλλη, οι λεγόμενοι δείκτες βλάστησης ορθογώνιου μετασχηματισμού. Οι παραπάνω δείκτες προβαίνουν σε μετατροπή των διαθέσιμων φασματικών καναλιών για να σχηματίσουν ένα νέο σύνολο ασυσχέτιστων καναλιών εντός του οποίου μπορεί να οριστεί ένας πράσινος δείκτης βλάστησης.

Η χρήση των δεικτών βλάστησης παρέχει ένα μεγάλο βαθμό πλεονεκτημάτων συγκρινόμενη με την συλλογή δεδομένων βλάστησης στο πεδίο. Σαφέστατα, απαιτεί αρχικά λιγότερο χρόνο, ενέχει μικρότερο κόστος, απαιτεί λιγότερη σωματική κόπωση και φυσικά υπάρχουν απεριόριστα διαθέσιμα δεδομένα (Tanpiverdi, 2006). Σήμερα γίνεται χρήση, με σκοπό την μελέτη της εξάπλωσης της βλάστησης, ενός μεγάλου αριθμού δεικτών, οι οποίοι ξεπερνούν αριθμητικά τους 150 (ENVI user guide, 2013). Στο πίνακα του ακολουθεί δίνονται οι κυριότεροι δείκτες βλάστησης.

Πίνακας 7: Δείκτες βλάστησης (πηγή: Silleos et al, 2006)

| Δείκτες βλάστησης | |
|--|---------------------------------|
| RATIO = NIR/R | Birth and McVey (1968) |
| NDVI = NIR-R / NIR+R | Rouse et al (1974) |
| SAVI = (NIR-R / NIR+R) * (1+L) | Huete (1988) |
| $TVI = \sqrt{\frac{NIR-R}{NIR+R}} + 0.5$ | Deering et al (1975) |
| $CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ABS * (NDVI + 0.5)} * \sqrt{ABS * (NDVI + 0.5)}$ | Perry and Lautenschlager (1984) |
| $TTVI = \sqrt{ABS * (NDVI + 0.5)}$ | Thiam (1997) |
| RVI = R/NIR | Richardson and Wiegand (1977) |
| NRVI = RVI-1 / RVI +1 | Baret and Guyot (1991) |
| $EVI = G * \frac{NIR-R}{NIR+C1*R-C2*B+L} * (1+L)$ | Huete et al (1999) |
| $PVI = \sqrt{(R_{gg5} - R_{p5})^2 + (R_{gg7} - R_{p7})^3}$ | Richardson and Wiegand (1977) |
| $PVI1 = \frac{(b * NIR - R) + a}{\sqrt{b^2 + 1}}$ | Perry and Lautenschlager (1984) |
| $PVI2 = \frac{(NIR - a) * (R + b)}{\sqrt{1 - a^2}}$ | Bannari et al (1996) |
| PVI3 = a * pNIR - b * pR | Qi et al (1994) |
| DVI = g * MSS7 - MSS5 | Richardson and Wiegand (1977) |

| | |
|---|---|
| $TSAVI1 = \frac{a*(NIR-a)*(R-b)}{R+a*NIR-a*b}$ | Baret and Guyot (1989) |
| $TSAVI2 = \frac{a*(NIR-a*R-b)}{R+a*NIR-a*b+0.08*(1+a^2)}$ | Baret and Guyot (1991) |
| $MSAVI1 = \frac{NIR-R}{NIR+R+L}*(1+L)$ | Qi et al (1994) |
| $MSAVI2 = \frac{2*p*NIR+1-\sqrt{(2*p*NIR+1)^2-8*(p*NIR-p*R)}}{2}$ | Qi et al (1994) |
| $WDVI = p*NIR - \gamma*p*R$ | Richardson and Wiegand (1977), Clever (1988) |

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, για την μελέτη της ιστάμενης βλάστησης, κρίθηκε ορθή η χρήση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης NDVI. Ο δείκτης NDVI (Περάκης, 1997) ανήκει στην πρώτη κατηγορία των δεικτών βλάστησης. Εισήχθη από τους Rouse et al (1974), αν και η αρχική σύλληψη του αποδίδεται στους Krieger et al (1969). Είναι ο πιο διαδεδομένος δείκτης λόγω της μοναδικής ικανότητάς του να ελαχιστοποιεί τυχόν τοπογραφικές επιδράσεις και παράλληλα να δημιουργεί μια γραμμική κλίμακα με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ -1 έως 1.

Ο δείκτης NDVI υπολογίζεται από τον τύπο:

- $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$

όπου

NIR: η ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο και

RED: η ανακλαστικότητα στο ερυθρό κανάλι.

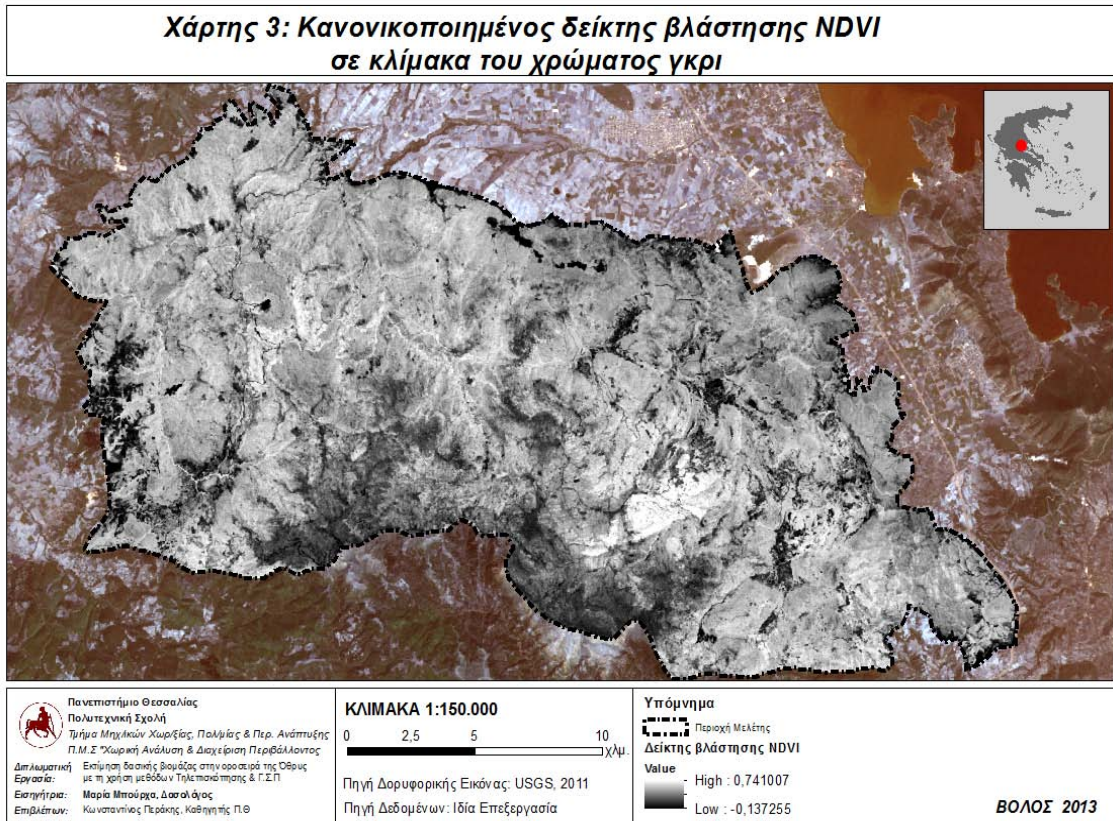
Ενδεικτικά, οι τιμές που είναι κοντά στο 0 αντιστοιχούν σε επιφάνειες οι οποίες είναι γυμνές από βλάστηση (πχ. βραχώδεις εξάρσεις, γυμνό έδαφος κτλ), οι αρνητικές τιμές σε επιφάνειες που λόγω της φύσης τους δεν είναι δυνατόν να φέρουν βλάστηση (πχ υδάτινες επιφάνειες, αστικό περιβάλλον κτλ) και τιμές έως 1 φέρουν οι επιφάνειες που καλύπτονται από βλάστηση (πχ λιβάδια, αγροτικές καλλιέργειες, δασικά οικοσυστήματα κτλ) (Silleos et al, 2006).

Το συγκριτικό βέβαια πλεονέκτημα του Κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Ρούσου, 2009) με τους άλλους δείκτες είναι ότι η ιδιότητα του να εκτιμά την

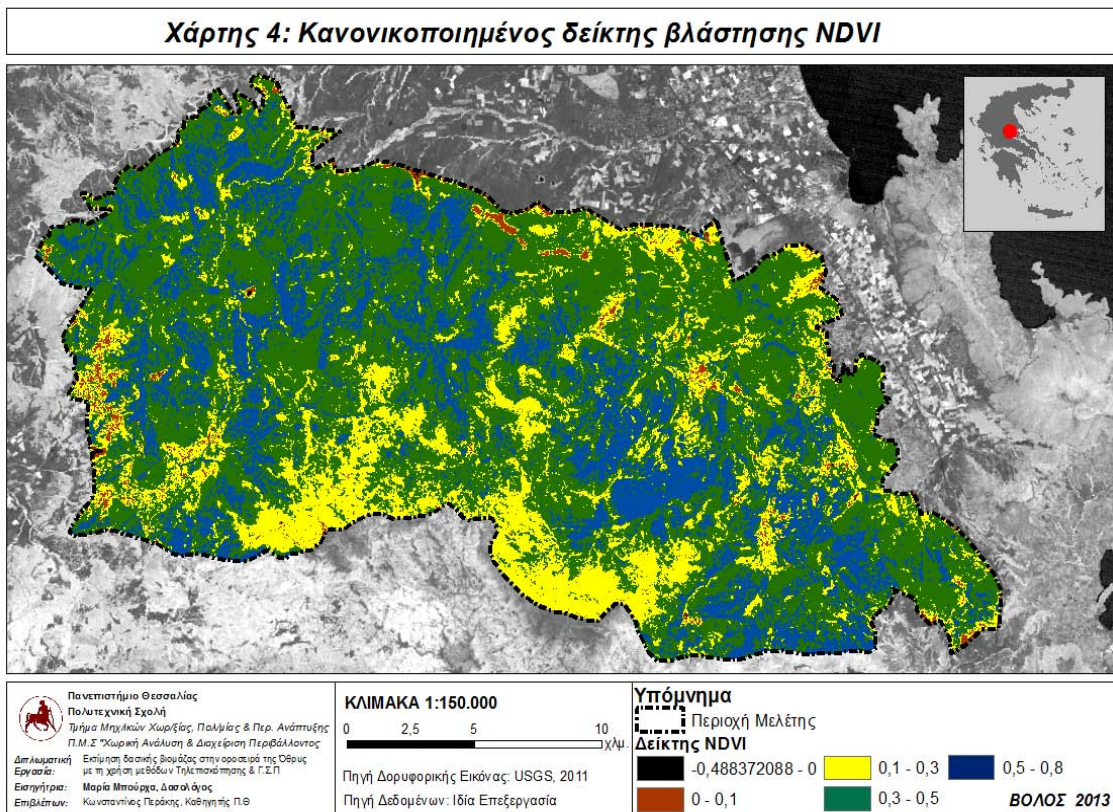
οποιαδήποτε μορφή βλάστησης προκύπτει από το γεγονός ότι είναι ένας λόγος. Η κανονικοποίηση μέσω διαίρεσης με άθροισμα ελαχιστοποιεί την πιθανότητα διαίρεσης με μηδέν. Επίσης, ο δείκτης NDVI βοηθάει στην εξομάλυνση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων, όπως οι αλλαγές στις συνθήκες φωτισμού, η επιφανειακή κλίση και η έκθεση. Παράγοντες που μεταβάλλουν τις τιμές του.

Αποτελεί έναν εύχρηστο δείκτη για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας των φυτών, την παρουσίαση των εναλλαγών στο φαινολογικό τους κύκλο, την εκτίμηση της βιομάζας του πράσινου τμήματος των φυτών, την εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών καθώς και σε άλλες εφαρμογές. Ωστόσο, ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI έχει ιδιαίτερες αδυναμίες (Basso et al, 2004). Ο πρώτος περιορισμός για την ακριβή εκτίμηση του είναι η ύπαρξη θορύβου από το έδαφος. Το γυμνό έδαφος συμπεριφέρεται με ένα τελείως διαφορετικό τρόπο από την βλάστηση όσο αφορά το τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που απορροφά ή αντανακλά. Η ύπαρξη διάκενων στο επιφανειακό στρώμα της βλάστησης μεταβάλλει την φασματική απόκριση της βλάστησης. Παράλληλα, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του NDVI, όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το δείκτη NDVI είναι η ίδια η βλάστηση και συγκεκριμένο το είδος στο οποίο ανήκει. Διαφορετικά είδη βλάστησης, δηλαδή υψηλή-χαμηλή βλάστηση, κωνοφόρα ή πλατύφυλλα είδη βλάστησης, ώριμα ή νεαρά άτομα βλάστησης, με ή χωρίς υπο-όροφο δασικά τμήματα, συμπεριφέρονται επίσης με διαφορετικό τρόπο όσο αφορά την ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που απορροφούν ή αντανακλούν. Σαφέστατα, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το παραπάνω δείκτη, όπως οι ιδιότητες των συστημάτων καταγραφής, η ώρα, η εποχή κτλ.

Στην παρούσα εργασία, παρά την ύπαρξη των παραπάνω παραγόντων και με την παραδοχή ότι μέσω της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και του δείκτη βλάστησης NDVI είναι δυνατή η μελέτη της βλάστησης σε μια ευρεία περιοχή, έγινε παραγωγή θεματικών επιπέδων του παραπάνω δείκτη μέσω των λογισμικών πακέτων Erdas Imagine και ArcGIS, όπου και υπολογίστηκε για κάθε ένα εικονοστοιχείο των δορυφορικών εικόνων της περιοχής μελέτης, η τιμή του.



Χάρτης 3: Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI σε κλίμακα του χρώματος γκρι



Χάρτης 4: Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI

Σύμφωνα με τους δύο χάρτες που προηγούνται, η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται στην πλειοψηφία της επιφάνειας της από υψηλές τιμές δείκτη βλάστησης NDVI, ο οποίος κυμαίνεται συνολικά από -0,4 έως 0,80. Τις χαμηλότερες τιμές του δείκτη φέρουν οι περιοχές που ανήκουν σε αστικές και αγροτικές εκτάσεις, μεσαίες τιμές οι περιοχές στις οποίες κυριαρχεί η σκληροφυλλική βλάστηση και τέλος τις υψηλότερες οι αμιγώς δασικές περιοχές Δρυός και Ελάτης.

Γενικότερα, σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές, αναμένουμε στην περιοχή αρκετά υψηλές ποσότητες βιομάζας, η οποία αντιστοιχεί στο ξυλώδες κεφάλαιο των δασικών οικοσυστημάτων που φιλοξενούνται στην οροσειρά Όθρυς. Έτσι μετά την συσχέτιση των τιμών του δείκτη βλάστησης NDVI με τις ποσότητες βιομάζας που εκτιμήθηκαν εντός των δοκιμαστικών επιφανειών, θα είμαστε σε θέση να διαχωρίζουμε την επιφάνεια σε σταθμούς διαφόρων επιπέδων σε κλίμακα παραγωγικότητας.

3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Το συγκεκριμένο στάδιο της μελέτης αποσκοπεί στη δημιουργία μιας αριθμητικής σχέσης μεταξύ των πρωτογενών δεδομένων των παραπάνω ενοτήτων, των τιμών δηλαδή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI και των ποσοτήτων του ξυλώδους όγκου των δασικών οικοσυστημάτων. Αυτό είναι δυνατό μέσω μιας απλής εφαρμογής της ανάλυσης παλινδρόμησης (Basso et al, 2004).

Η ανάλυση παλινδρόμησης αποτελεί κλάδο της επιστήμης της Στατιστικής και δίνει τη δυνατότητα εξέτασης της σχέσης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με σκοπό την πρόβλεψη των τιμών της μίας μέσω των τιμών της άλλης (ή των άλλων). Για να καταστεί εφικτός ο παραπάνω σκοπός προτεύει η διάκριση των μεταβλητών σε δύο είδη: τις εξαρτημένες και τις ανεξάρτητες μεταβλητές που σύμφωνα με την βιβλιογραφία συμβολίζονται με τα σύμβολα Y και X αντίστοιχα. Οι μεταβλητές αυτές συνδέονται μεταξύ τους με μια σχέση της μορφής $Y=f(X)$ μέσω της οποίας για κάθε τιμή της X μπορούμε να υπολογίσουμε την αντίστοιχη Y .

Εν προκειμένω, για την κατασκευή ενός μοντέλου παλινδρόμησης, μέσω του οποίου θα καταστεί δυνατή η εκτίμηση της ποσότητας βιομάζας της περιοχής ενδιαφέροντος, είναι απαραίτητη η επιλογή των ερμηνευτικών παραγόντων (ανεξάρτητες μεταβλητές) και η συσχέτισή τους με τα στοιχεία που απαρτίζουν το φαινόμενο που μελετάμε. Η πορεία

των εργασιών για την επίτευξη του εν λόγω σκοπού δίνεται στο διάγραμμα της εικόνα 18 που ακολουθεί.



Εικόνα 18: Διάγραμμα ροής εργασιών για την εκτίμηση της βιομάζας (πηγή: Ίδια επεξεργασία)

Αρχικά, από το θεματικό χάρτη του δείκτη NDVI, απομονώθηκαν εκείνα τα εικονοστοιχεία της δορυφορικής εικόνας που αντιστοιχούν σε κάθε μία διαχειριστική κλάση βλάστησης, μέσω της χρήσης της εργαλειοθήκης του λογισμικού πακέτου ArcGIS. Σε αυτό συνέβαλε η ταξινόμηση που προηγήθηκε, η διαθεσιμότητα χαρτών από τις αντίστοιχες διαχειριστικές μελέτες και φυσικά οι δοκιμαστικές επιφάνειες. Σε αυτά τα νέα τρία θεματικά επίπεδα τοποθετήθηκαν οι δοκιμαστικές επιφάνειες με τα αντίστοιχα ποσά βιομάζας. Στη συνέχεια, για κάθε μια δοκιμαστική επιφάνεια δημιουργήθηκε ένα ζεύγος τιμών, του δείκτη NDVI και της αντίστοιχης ποσότητας

βιομάζας. Ως αποτέλεσμα, έχουμε 13 ζεύγη τιμών για κάθε μια διαχειριστική κλάση βλάστησης. Συνολικά 39 ζεύγη, όπως παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικός πίνακας ζευγών δείκτη NDVI - Βιομάζας

| Συγκεντρωτικός Πίνακας Ζευγών Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης NDVI - Βιομάζας για το σύνολο των Διαχειριστικών Κλάσεων Βλάστησης | | |
|--|-------------------------------|--|
| Διαχειριστική Κλάση Βλάστησης Ελάτης | | |
| A/A | Δείκτης Βλάστησης NDVI | Βιομάζα (κ.μ./εικονοστοιχείο) |
| 1 | 0,4 | 77,3 |
| 2 | 0,48 | 109,08 |
| 3 | 0,58209 | 222,58 |
| 4 | 0,4 | 39,67 |
| 5 | 0,535714 | 180,86 |
| 6 | 0,5 | 170,6 |
| 7 | 0,508772 | 148,3 |
| 8 | 0,387755 | 82,3 |
| 9 | 0,522388 | 180,6 |
| 10 | 0,492537 | 90,7 |
| 11 | 0,46875 | 93,4 |
| 12 | 0,536232 | 210,62 |
| 13 | 0,5 | 176,3 |
| Διαχειριστική Κλάση Βλάστησης Δρυός | | |
| A/A | Δείκτης Βλάστησης NDVI | Βιομάζα (κ.μ./εικονοστοιχείο) |
| 1 | 0,27 | 23,9 |
| 2 | 0,45 | 49 |
| 3 | 0,669903 | 124,6 |

| | | |
|--|-------------------------------|--|
| 4 | 0,333333 | 42 |
| 5 | 0,459459 | 86,1 |
| 6 | 0,543478 | 106,3 |
| 7 | 0,494505 | 36,4 |
| 8 | 0,590909 | 114,5 |
| 9 | 0,291667 | 28,3 |
| 10 | 0,582418 | 98,1 |
| 11 | 0,541667 | 78,3 |
| 12 | 0,435294 | 70,4 |
| 13 | 0,578947 | 77,5 |
| Διαχειριστική Κλάση Βλάστησης Αειφύλλων Πλατύφυλλων | | |
| A/A | Δείκτης Βλάστησης NDVI | Βιομάζα (κ.μ./εικονοστοιχείο) |
| 1 | 0,255814 | 11,9 |
| 2 | 0,410256 | 26,5 |
| 3 | 0,26087 | 10,9 |
| 4 | 0,333333 | 8,8 |
| 5 | 0,333333 | 14,2 |
| 6 | 0,2 | 4,1 |
| 7 | 0,533333 | 31,5 |
| 8 | 0,294118 | 11,9 |
| 9 | 0,282609 | 12,6 |
| 10 | 0,555556 | 32 |
| 11 | 0,62 | 35,3 |
| 12 | 0,294118 | 25,3 |

13

0,428571

22,6

Για την επίτευξη του στόχου, 12 ζεύγη από κάθε διαχειριστική κλάση βλάστησης, επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο, για την κατασκευή του μοντέλου παλινδρόμησης. Το κάθε μοντέλο αποτελεί την εξίσωση πρόβλεψης ή γραμμή παλινδρόμησης που υπολογίζει τη βιομάζα βάσει της αντίστοιχης τιμής του δείκτη NDVI. Τα μοντέλα είναι της μορφής $Y = \beta X + \alpha$, όπου β η κλίση και α μία σταθερά, β και α μη μηδενικές τιμές.

Οι εξισώσεις πρόβλεψης κατασκευάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού πακέτου Excel, το οποίο μέσω της γραμμικής ανάλυσης παλινδρόμησης δίνει την δυνατότητα κατασκευής γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών.

Μετέπειτα, οι εξισώσεις ελέγχθηκαν ως προς το συντελεστή συσχέτισης, συντελεστή προσδιορισμού και την σημαντικότητα των παραγόντων, μεταβλητών και συντελεστών των μοντέλων με την χρήση του λογισμικού SPSS.

Αναφορικά, ο συντελεστής συσχέτισης R , εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που σχετίζονται 2 μεταβλητές. Παίρνει τιμές μεταξύ του διαστήματος $[-1,1]$ όπου

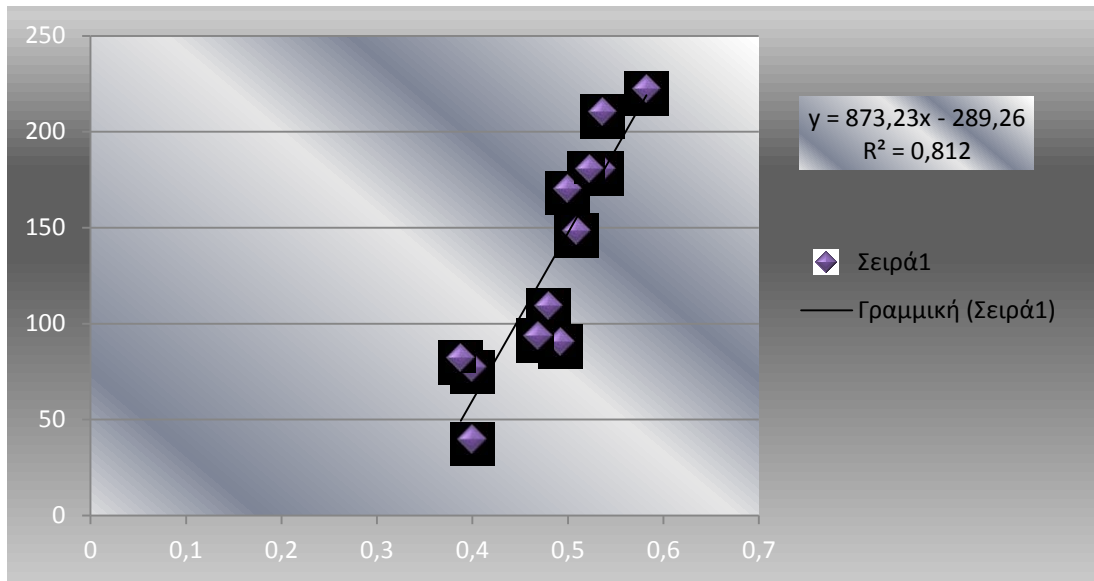
$R=1$, υπάρχει τέλεια θετική συσχέτιση μεταξύ των X και Y

$R=0$, δεν υπάρχει καμία γραμμική συσχέτιση μεταξύ των X και Y

$R=-1$, υπάρχει τέλεια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των Y και X

και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , είναι η ποσοστιαία μεταβλητότητα της Y που εξηγείται από την εξίσωση παλινδρόμησης και οφείλεται στις επιδράσεις της μεταβλητής X . Παίρνει τιμές εντός του διαστήματος $[0,1]$ (πηγή: <http://mathbits.com>, 2013).

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΕΛΑΤΗΣ



Διάγραμμα 1: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας Διαχειριστικής κλάσης Ελάτης

Από το διάγραμμα 1, η εξίσωση πρόβλεψης για τη διαχειριστική κλάση Ελάτης είναι της μορφής:

$$y=873.23 \cdot x-289.26$$

όπου

y η βιομάζα σε κ.μ.

x οι τιμές του δείκτη NDVI

Μέσω εφαρμογής του λογισμικού προγράμματος SPSS ελέγχονται οι συντελεστές του μοντέλου πρόβλεψης της Ελάτης.

Πίνακας 9: Συνολικός πίνακας αξιολόγησης μοντέλου Ελάτης

| Model Summary | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|-----------------|----------|----------------------------|-------------------|----------|-----|-----|---------------|
| Model | R | Adjusted Square | R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics | | | | |
| | | | | | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change |
| 1 | ,901 ^a | ,812 | 0,93 | 26,9227 | 0,812 | 4,196 | | 0 | 0 |

a. Predictors: (Constant), NDVI

Ο πίνακας 9, αναφέρει ορισμένα συγκεντρωτικά δεδομένα για την ύπαρξη της πρόβλεψης όσο αφορά τη συγκεκριμένη διαχειριστική κλάση βλάστησης. Αρχικά, βλέπουμε ότι ο δείκτης συσχέτισης R ισούται με 0,901, δηλώνοντας μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και των αντίστοιχων ποσοτήτων βιομάζας της Ελάτης. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ανέρχεται στο 0,812, σύμφωνα με το οποίο η μεταβλητότητα της βιομάζας μπορεί να εξηγηθεί κατά 81% από την μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI.

Πίνακας 10: Πίνακας ANOVA διαχειριστικής κλάσης Ελάτης

| ANOVA | | | | | | |
|---------------------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | 31310,05 | 1 | 31310,05 | 43,196 | ,000 ^b |
| | Residual | 7248,316 | 10 | 724,832 | | |
| | Total | 38558,37 | 11 | | | |
| a. Dependent Variable: ΕΛΑΤΗ | | | | | | |
| b. Predictors: (Constant), NDVI | | | | | | |

Ο παραπάνω πίνακας, αξιολογεί το μέγεθος των συντελεστών συσχέτισης και προσδιορισμού του μοντέλου, για το αν ξεπερνούν ή όχι τα επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας. Καταδεικνύει δηλαδή αν η υπόθεση μας είναι σημαντική ή τυχαία. Σε αυτή την περίπτωση ελέγχονται οι συντελεστές R ή R^2 αν είναι σημαντικά διαφορετικοί από το μηδέν.

Αρχικά, διαμορφώνουμε 2 υποθέσεις:

H_0 : ότι η υπόθεσή μας είναι τυχαία και

H_e : ότι η υπόθεσή μας είναι στατιστικά σημαντική

Όπως φαίνεται στο πίνακα που προηγήθηκε το μέγεθος του τεστ F είναι 43,196, το οποίο για 1 έως 10 βαθμούς ελευθερίας, στον αριθμητή και στο παρανομαστή αντίστοιχα, σχετίζεται με μια πιθανότητα που είναι μικρότερη του 0,05 (sig.=0.000). Το στατιστικά σημαντικό εύρημα σημαίνει αυτόματα την υιοθέτηση της εναλλακτικής υπόθεσης ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση/πρόβλεψη της βιομάζας από το δείκτη NDVI.

Πίνακας 11: Στατιστικοί έλεγχοι των συντελεστών του μοντέλου Ελάτης

| Model | Coefficients ^a | | | t | Sig. |
|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|-------|
| | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | | |
| | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 (Constant) | -289,263 | 64,842 | | -4,461 | 0,001 |
| NDVI | 873,229 | 132,863 | 0,901 | 6,572 | 0 |

a. Dependent Variable: ΕΛΑΤΗ

Στον παραπάνω πίνακα εντοπίζουμε τους συντελεστές που ορίζουν την εξίσωση της πρόβλεψης. Αξιοποιούμε την εξίσωση για να προβλέψουμε τις τιμές συγκεκριμένων συμμετεχόντων ή γενικότερα για να κάνουμε προβλέψεις για δεδομένες τιμές X (NDVI). Εντοπίζουμε δύο στατιστικά τεστ που αναφέρονται στη χρήση του t-test. Έχουμε ήδη επισημάνει ότι ένα στατιστικό τεστ θα πρέπει να εξετάζει μια συγκεκριμένη ερευνητική υπόθεση (μηδενική και εναλλακτική). Το πρώτο τεστ αξιολογεί τις παρακάτω υποθέσεις αναλογικά με την παράμετρο της σταθεράς α , η οποία αναφέρεται στην πρόβλεψη της τιμής του Y (βιομάζα) όταν η τιμή του X (NDVI) είναι μηδέν.

Οι υποθέσεις λοιπόν που αξιολογούνται έχουν ως εξής:

H_0 : Η τιμή της σταθεράς είναι ίση με το μηδέν

H_e : Η τιμή της σταθεράς είναι διαφορετική από το μηδέν

Επί τις ουσίας αξιολογείται το αν η τιμή -289,263 είναι ίση με το μηδέν. Από την αξιολόγηση της πιθανότητας, η οποία είναι 0,001, φαίνεται ότι πρέπει να δεχτούμε τη δεύτερη υπόθεση (θα δεχόμαστε την εναλλακτική αν η πιθανότητα ήταν μεγαλύτερη από 5%), η οποία μας λέει ότι η σταθερά είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετική από το μηδέν. Το συγκεκριμένο τεστ δηλώνει ότι η σταθερά α συνεισφέρει σημαντικές πληροφορίες για το μέγεθος της πρόβλεψης.

Αντίθετα, η κλίση β μας πληροφορεί για το μέγεθος της πρόβλεψης και το είδος της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Η τιμή της είναι 873,229 ενώ ομοίως έχουμε πάλι 2 υποθέσεις:

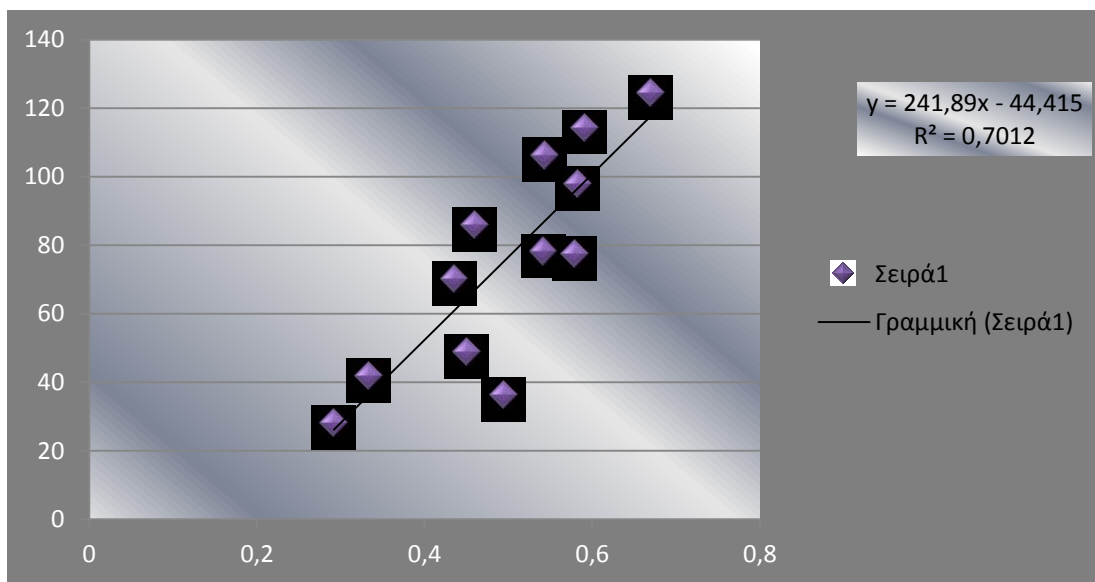
H_0 : Η κλίση β είναι ίση με το μηδέν

H_e : Η κλίση β είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετική από το μηδέν

Επειδή ο στατιστικός δείκτης t με μέγεθος 6,572 σχετίζεται με μια πιθανότητα που είναι μικρότερη από το 5%, δεχόμαστε αυτόματα την εναλλακτική υπόθεση που μας λέει ότι η κλίση είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετική από το μηδέν. Σημαντική κλίση σημαίνει (φυσικά) και σημαντική πρόβλεψη.

Επομένως συμπεραίνουμε (και από το συγκεκριμένο τεστ, όπως και από το F-test παραπάνω), ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική πρόβλεψη της βιομάζας της Διαχειριστικής κλάσης Ελάτης σε συνάρτηση με το Κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης NDVI.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΔΡΥΟΣ



Διάγραμμα 2: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Δρυός

Η εξίσωση πρόβλεψης στη συγκεκριμένη περίπτωση βλάστησης είναι:

$$y=241,89 \cdot x-44,415$$

όπου y η βιομάζα σε κ.μ.

x οι τιμές του δείκτη NDVI

Η ίδια διαδικασία στατιστικής ανάλυσης ακολουθείται και σε αυτή την περίπτωση διαχειριστική βλάστησης

Πίνακας 12: Συνολικός πίνακας αξιολόγησης μοντέλου Δρυός

| Model Summary | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------|-----|-----|-------------|--|
| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics | | | | | |
| | | | | | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. Change | |
| 1 | ,837 ^a | 0,701 | 0,671 | 18,22895 | 0,701 | 23,464 | 1 | 10 | 0,001 | |

a. Predictors: (Constant), NDVI

Σύμφωνα με τον πίνακα 12, ο συντελεστής συσχέτισης R ισούται με 0,837, δηλώνοντας και στην περίπτωση της διαχειριστικής κλάσης Δρυός υπάρχει μεγάλος βαθμός συσχέτισης μεταξύ του δείκτη βλάστησης και της ποσότητας της βιομάζας. Συγκεκριμένα, ο δείκτης συνάφειας ή δείκτης Pearson R ισούται με 0,837, δηλώνοντας μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και των αντίστοιχων ποσοτήτων βιομάζας. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ανέρχεται στο 0,701, σύμφωνα με το οποίο η μεταβλητότητα της βιομάζας μπορεί να εξηγηθεί κατά 70% από την μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI.

Πίνακας 13: Πίνακας ANOVA διαχειριστικής κλάσης Δρυός

| ANOVA ^a | | | | | | |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | 7797,102 | 1 | 7797,102 | 23,464 | ,001 ^b |
| | Residual | 3322,947 | 10 | 332,295 | | |
| | Total | 11120,05 | 11 | | | |

a. Dependent Variable: ΔΡΥΣ
b. Predictors: (Constant), NDVI

Παρομοίως, σε αυτή τη περίπτωση εξετάζουμε αν συντελεστές R ή R^2 είναι σημαντικά διαφορετικοί από το μηδέν.

Αρχικά, διαμορφώνουμε 2 υποθέσεις:

H_0 : ότι η υπόθεσή μας είναι τυχαία και

H_E : ότι η υπόθεσή μας είναι στατιστικά σημαντική

Όπως φαίνεται στο πίνακα που προηγήθηκε το μέγεθος του τεστ F είναι 23,464, το οποίο για 1 έως 10 βαθμούς ελευθερίας σχετίζεται με μια πιθανότητα που είναι

μικρότερη του 0,05 (sig.=0.001). Το στατιστικά σημαντικό εύρημα σημαίνει αυτόματα την υιοθέτηση της εναλλακτικής υπόθεσης και σε αυτή την περίπτωση, ότι δηλαδή υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση/πρόβλεψη της βιομάζας από το δείκτη NDVI.

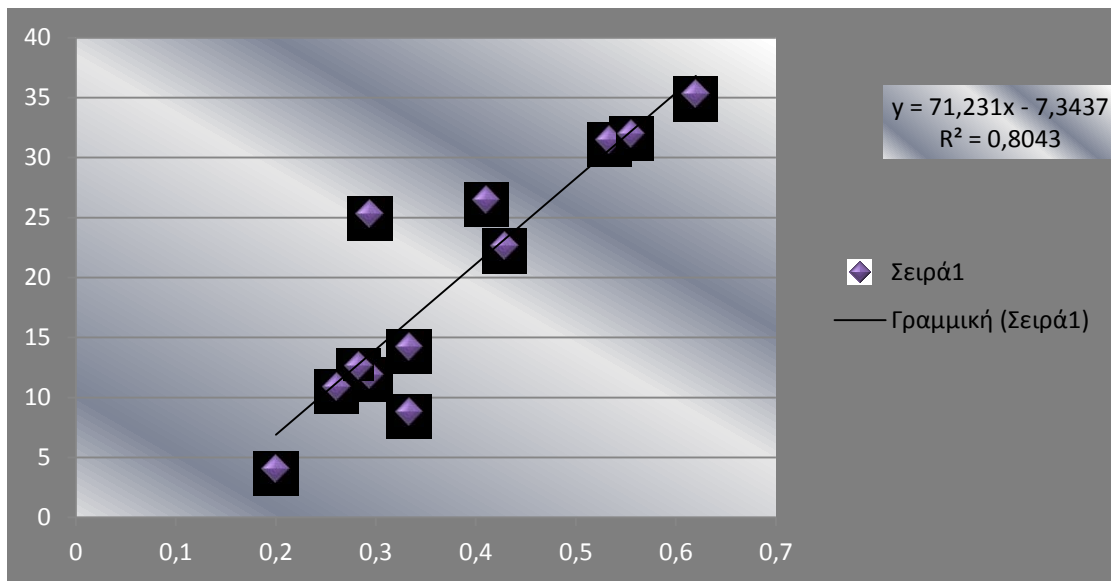
Πίνακας 14: Στατιστικοί έλεγχοι των συντελεστών του μοντέλου Δρυός

| Coefficients ^a | | | | | | |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|-------|
| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -44,415 | 25,401 | | -1,749 | 0,111 |
| | NDVI | 241,892 | 49,936 | 0,837 | 4,844 | 0,001 |

a. Dependent Variable: ΔΡΥΣ

Με τον παραπάνω πίνακα ελέγχονται οι συντελεστές β (κλίση) και α (σταθερά) του μοντέλου παλινδρόμησης. Αυτό γίνεται με το t τεστ το οποίο παίρνει τιμές -1,749 με συντελεστή σημαντικότητας 0,111 (>0,05) για την σταθερά α και 4,844 με συντελεστή σημαντικότητας 0,001 για το β αντίστοιχα. Παρόλο που και στις δυο περιπτώσεις το t τεστ δεν είναι μηδέν, ο βαθμός σημαντικότητας για την σταθερά α είναι μεγαλύτερος από το 0,05, άρα η σταθερά α δεν είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετική από το μηδέν. Αντίθετα, ο παράγοντας β, δηλαδή η κλίση της εξίσωσής μας, είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικός από το μηδέν, άρα υπάρχει μια στατιστικά σημαντική πρόβλεψη της βιομάζας από το δείκτη NDVI.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΔΕΙΦΥΛΛΩΝ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ



Διάγραμμα 3: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλων

Η εξίσωση που κατασκευάστηκε μέσω της γραμμικής ανάλυσης παλινδρόμησης στη διαχειριστική κλάση Α. Πλατύφυλλων είναι:

$$y=71,231 \cdot x-7,3437$$

όπου

y η βιομάζα σε κ.μ.

x οι τιμές του δείκτη NDVI

Πίνακας 15: Συνολικός πίνακας αξιολόγησης μοντέλου Α. Πλατύφυλλων

| Model Summary | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------|-----|-----|---------------|--|
| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics | | | | | |
| | | | | | R Square Change | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change | |
| 1 | ,897 ^a | 0,804 | 0,785 | 4,84802 | 0,804 | 41,098 | 1 | 10 | 0,000 | |

a. Predictors: (Constant), NDVI

Ο πίνακας 15, παρουσιάζει μια θετική συνάφεια των ζευγών των μεταβλητών του μοντέλου της διαχειριστικής κλάσης Αειφύλλων Πλατύφυλλων, με συντελεστή R να ανέρχεται σε 0,897. Ο συντελεστής συσχέτισης R² να ισούται με 0,804 σύμφωνα με το

οποίο η μεταβλητότητα της βιομάζας μπορεί να εξηγηθεί κατά 80% από την μεταβολή του δείκτη βλάστησης NDVI.

Πίνακας 16: Πίνακας ANOVA διαχειριστικής κλάσης Α. Πλατύφυλλων

| ANOVA ^a | | | | | | |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | 965,936 | 1 | 965,936 | 41,098 | ,000 ^b |
| | Residual | 235,033 | 10 | 23,503 | | |
| | Total | 1200,969 | 11 | | | |

a. Dependent Variable: ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ
b. Predictors: (Constant), NDVI

Στο πίνακα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) αξιολογείται το μέγεθος των δεικτών του μοντέλου, R και R², αν είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικοί του μηδέν. Το F τεστ με τιμή 41,098 σε 1 έως 10 βαθμούς ελευθερίας, σχετίζεται με μια πιθανότητα 0,00 (< 0,05). Έτσι προκύπτει πως υπάρχει μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση/πρόβλεψη της βιομάζας από τον δείκτη NDVI και σε αυτή την περίπτωση.

Πίνακας 17: Στατιστικοί έλεγχοι συντελεστών μοντέλου Α. Πλατύφυλλων

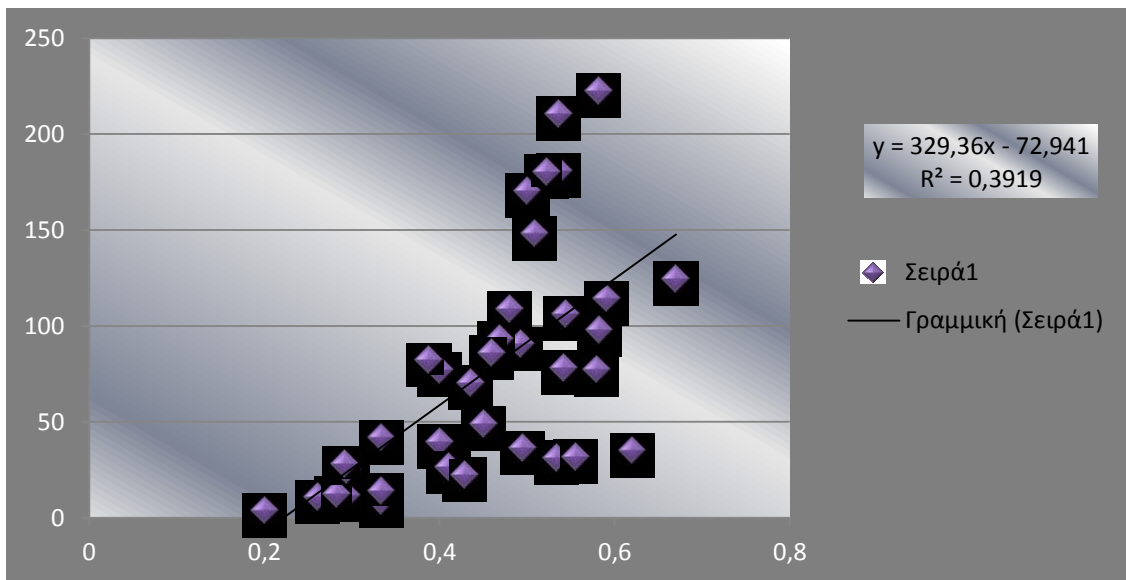
| Coefficients ^a | | | | | | |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|-------|
| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -7,344 | 4,436 | | -1,656 | 0,129 |
| | NDVI | 71,231 | 11,111 | 0,897 | 6,411 | 0 |

a. Dependent Variable: ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ

Με το t τεστ του πίνακα 17 που προηγήθηκε, αξιολογούμε τους συντελεστές της εξίσωσης του μοντέλου παλινδρόμησης της διαχειριστικής κλάσης βλάστησης των Αείφυλλων Πλατύφυλλων. Το t τεστ παίρνει τιμές -0,656 και 6,411 με βαθμό σημαντικότητας 0,129 και 0 για σταθερά α και β αντίστοιχα. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι μεν η σταθερά α δεν είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετική από το μηδέν. Δεν είναι ο πλέον όμως καθοριστικός παράγοντας. Η κλίση της εξίσωσης, δηλαδή το β, είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικός από το μηδέν. Συμπεραίνουμε λοιπόν και σε αυτή την περίπτωση πως όντως ο δείκτης βλάστησης είναι ένα καθοριστικός παράγοντας για την εκτίμηση της βιομάζας.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΟΡ. ΌΘΡΥΣ.

Σε αυτό το τμήμα, θα προσπαθήσουμε μέσω της εφαρμογής της μεθοδολογίας που περιγράψαμε, να εκτιμήσουμε την βιομάζα, στο σύνολο της επιφάνειας της Όθρυς, χωρίς όμως να διαχωρίσουμε ή να διακρίνουμε μορφές βλάστησης. Δεχόμαστε δηλαδή την υπόθεση πως η βλάστηση αποτελεί μια μεταβλητή μη διακριτή.



Διάγραμμα 4: Διασπορά σημείων δείκτη NDVI - Βιομάζας

Η εξίσωση που παράγεται για αυτήν τη περίπτωση είναι:

$$y=329,36*x-72,941$$

όπου

y η βιομάζα σε κ.μ.

x οι τιμές του δείκτη NDVI

Παρομοίως μέσω του λογισμικού πακέτου SPSS ελέγχουμε όλες τις παραμέτρους του συγκεκριμένου μοντέλου εκτίμησης.

Πίνακας 18: Συγκεντρωτικός πίνακας ελέγχου συσχέτισης μεταβλητών στο γενικό μοντέλο εκτίμησης

| Model Summary | | | | | | |
|---------------|-------------------|----------|-----------------|---|----------------------------|--------------------------|
| Model | R | R Square | Adjusted Square | R | Std. Error of the Estimate | Change Statistics |
| | | | | | | R Square Change F Change |
| 1 | ,626 ^a | 0,392 | 0,374 | | 48,05618 | 0,392 21,912 |

| ANOVA ^a | | | | | | |
|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | 50604,32 | 1 | 50604,32 | 21,912 | ,000 ^b |
| | Residual | 78519,49 | 34 | 2309,397 | | |
| | Total | 129123,8 | 35 | | | |
| Coefficients ^a | | | | | | |
| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -72,941 | 32,909 | | -2,216 | 0,033 |
| | NDVI | 329,36 | 70,36 | 0,626 | 4,681 | 0 |

a. Dependent Variable: BIOMASS

Στο συγκεντρωτικό πίνακα 18, αρχικά αναγνωρίζουμε το συντελεστή συσχέτισης R, ο οποίος ισούται με 0,626 και το συντελεστή προσδιορισμού R² που ισούται με 0,392. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε μία μέτρια θετική συσχέτιση των μεταβλητών βιομάζα και NDVI, ενώ το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να εξηγήσει μόνο 40% της μεταβλητότητα της βιομάζας.

Τα αποτελέσματα βέβαια, δεν είναι τελείως αποθαρρυντικά. Παρά το χαμηλό βαθμό συσχέτισης των δεδομένων, οι δείκτες συσχέτισης ή προσδιορισμού, όπως καταδεικνύει το F τεστ είναι στατιστικά σημαντικοί και μη μηδενικοί. Άρα ο δείκτης NDVI αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για την εκτίμηση της συνολικής βιομάζας, αλλά δεν είναι και ο μοναδικός.

Όσο αφορά τους συντελεστές του μοντέλου, δηλαδή την κλίση β και την σταθερά α, αναφέρουμε ότι και οι δύο είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικές από την τιμή μηδέν, με το t τεστ να ισούται με -2,216 και 4,681 αντίστοιχα.

Φυσικά, σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί η μεγάλη διαφορά του βαθμού ακρίβειας της εφαρμογής της μεθοδολογίας μεταξύ επαρκώς διακρινόμενων κλάσεων βλάστησης και μη.

3.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι παραπάνω εξισώσεις, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθοδολογίας που περιγράφηκε, είναι σε θέση να εκτιμήσουν, με ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας, την ποσότητα της ξυλώδους βιομάζας που είναι αποθηκευμένη στα δασικά οικοσυστήματα της Όθρυος.

Παρά ταύτα, σε αυτό στο σημείο, με σκοπό την υποστήριξη της ακρίβειας των αποτελεσμάτων των εν λόγω εξισώσεων, κρίνεται σκόπιμο η διερεύνηση του ποσού απόκλισης των εκτιμήσεων των εξισώσεων από τις πραγματικές τιμές της βιομάζας σε μια τυχαία θέση στην περιοχή μελέτης.

Είχαμε αναφέρει στην αρχή του κεφαλαίου, πως στην περιοχή μελέτης ελήφθησαν περίπου 13 δοκιμαστικές επιφάνειες, στις οποίες καταγράφηκε η βιομάζα, 12 όμως μόνο εισήχθησαν στο μοντέλο παλινδρόμησης για την κατασκευή των εξισώσεων. Η εναπομένουσα, για κάθε διαχειριστική κλάση βλάστησης, δοκιμαστική επιφάνεια θα εξυπηρετήσει για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού. Στον πίνακα 19 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ποσότητες του ξυλώδους όγκου των δοκιμαστικών επιφανειών, οι εξισώσεις που εκτιμούν τις εν λόγω ποσότητες βάσει του δείκτη βλάστησης και οι αποκλίσεις τους από τις πραγματικές τιμές βιομάζας.

Πίνακας 19: Συγκεντρωτικός πίνακας ελέγχου απόκλισης μοντέλων παλινδρόμησης

| Συγκεντρωτικός πίνακας ελέγχου απόκλισης μοντέλων παλινδρόμησης βλάστησης | | | | | | | |
|---|----------------|-----------------------|------|---------------------|----------------------|----------|-----------------------|
| α/α | Διαχ/κή κλάση | Πραγμ. Βιομάζα (κ.μ.) | NDVI | Μοντέλο Παλ/σης | Αναμ. Βιομάζα (κ.μ.) | Απόκλιση | Ποσοστό απόκλισης (%) |
| 1 | Ελάτης | 176,3 | 0,5 | $y=873,23*x-289,26$ | 147,355 | 28,945 | 16,41804 |
| 2 | Δρυός | 23,9 | 0,27 | $y=241,89*x-44,415$ | 20,8953 | 3,0047 | 12,57197 |
| 3 | Αειφ. Πλατ/λων | 11,9 | 0,26 | $y=71,231*x-7,3437$ | 11,17636 | 0,72364 | 6,081008 |
| Γενικό μοντέλο παλινδρόμησης | | | | | | | |
| 1 | Ελάτης | 176,3 | 0,5 | $y=329,36*x-72,941$ | 91,739 | 84,561 | 47,96427 |
| 2 | Δρυός | 23,9 | 0,27 | $y=329,36*x-72,941$ | 15,9862 | 7,9138 | 33,11213 |
| 3 | Αειφ. Πλατ/λων | 11,9 | 0,26 | $y=329,36*x-72,941$ | 12,6926 | -0,7926 | -6,660504 |

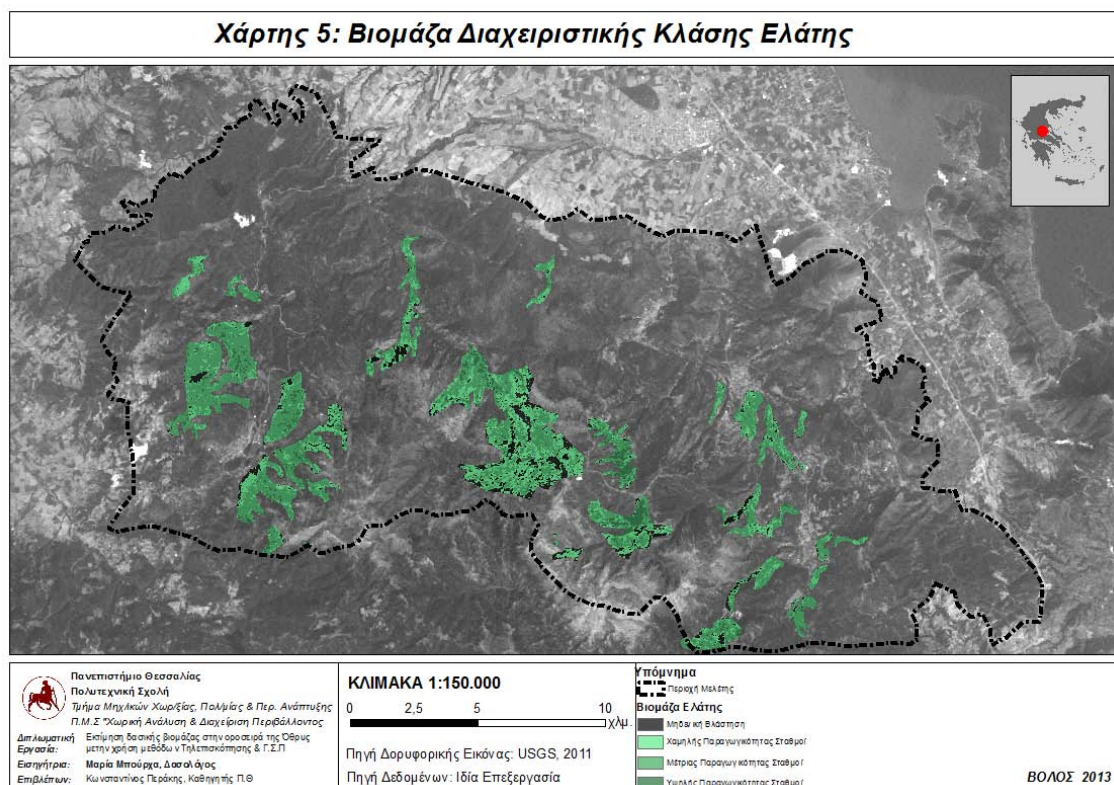
Από τον πίνακα 19, συνάγεται η θεώρηση για μια επαρκή σε ακρίβεια εφαρμογή των μοντέλων παλινδρόμησης της έκαστης διαχειριστικής κλάσης βλάστησης. Ειδικότερα παρατηρούνται αποκλίσεις σε ποσοστό που κυμαίνεται από 6% έως 16% ή από 1 κ.μ. έως 28 κ.μ. αντίστοιχα. Τη μεγαλύτερη ακρίβεια όσο αφορά το βαθμό προσέγγισης της πραγματικής τιμής βιομάζας παρουσιάζει η διαχειριστική κλάση Αείφ. Πλατύφυλλων, ακολουθεί η κλάση της Δρυός και έπεται η διαχειριστική κλάση της Ελάτης.

Παράλληλα, ελέγχεται και η ακρίβεια του γενικού μοντέλου παλινδρόμησης, απορροή του συνολικού αριθμού των δοκιμαστικών επιφανειών. Σε αυτή την περίπτωση ο βαθμός ακρίβειας είναι σχετικά χαμηλός, γεγονός αναμενόμενο αν ενθυμηθεί κανείς το χαμηλό βαθμό συσχέτισης των δεδομένων που πήραν μέρος στην κατασκευή του. Συγκεκριμένα, η απόκλιση του μοντέλου ανέρχεται έως και 47% για την διαχειριστική κλάση της Ελάτης, 33% για την Δρύ ενώ παρουσιάζει εξαιρετική ακρίβεια όσο αφορά την διαχειριστική κλάση των Αείφυλλων Πλατύφυλλων με απόκλιση που φτάνει μόλις το 6,5% σχεδόν.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των μοντέλων εκτίμησης, έχει ως τελικό σκοπό την παραγωγή θεματικών χαρτών βλάστησης των δασικών περιοχών σε όλη την περιοχή μελέτης. Αρχικά σε αυτή την ενότητα δίνονται τα αποτελέσματα των 3 διαχειριστικών κλάσεων βλάστησης, έτσι όπως διαχωρίστηκε η βλάστηση στις τρεις κυρίαρχες δασικές τάξεις και ακολουθεί έπειτα η περίπτωση της συνολικής βλάστησης, χωρίς διάκριση.

4.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΕΛΑΤΗΣ



Χάρτης 5: Βιομάζα διαχειριστικής κλάσης Ελάτης

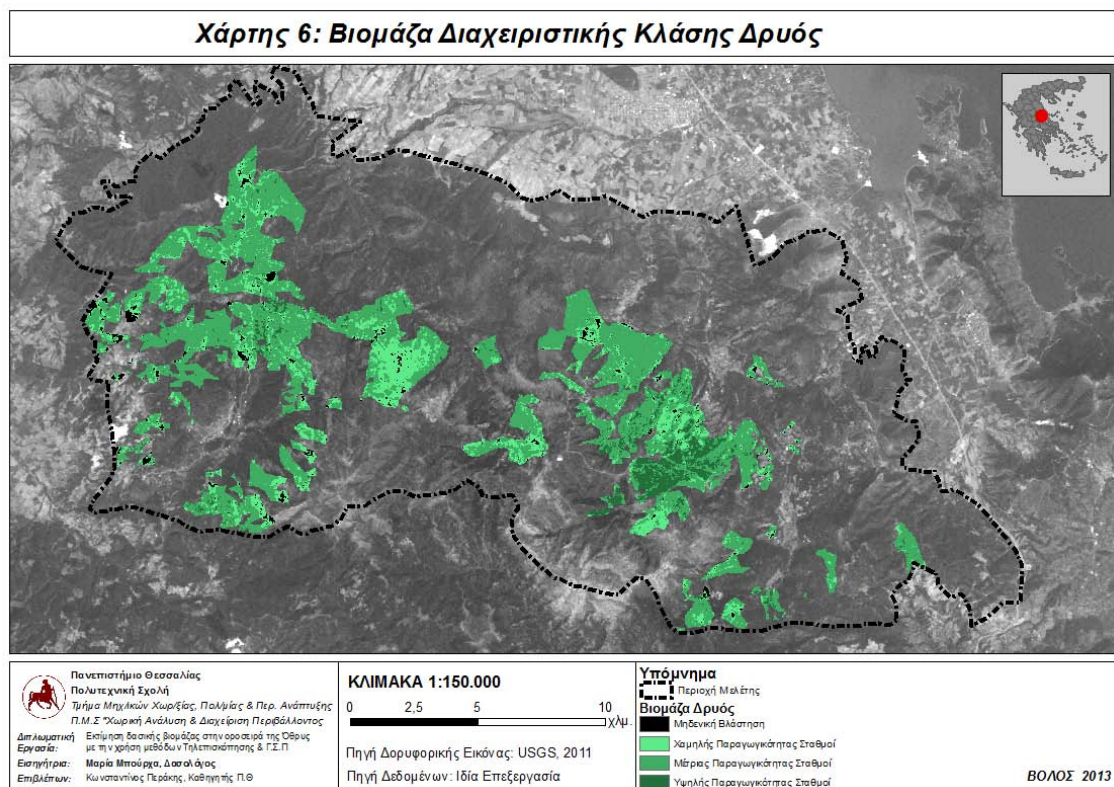
Τις υψηλότερες περιοχές του ορεινού όγκου της οροσειράς της Όθρυς καταλαμβάνει η διαχειριστική κλάση της Ελάτης. Ο ξυλώδης έμφλοιος όγκος του ανωρόφου των εν λόγω δασικών συμπλεγμάτων ανέρχεται στα 328 κ.μ., σε συστάδες που απαντώνται στις περιοχές της Ανάβρας, Καταφυγίου, Προσήλιων και Γερακοβουνίου.

Στο χάρτη 5 που προηγείται, διακρίνονται 4 σταθμοί, ανάλογα με το δυναμικό παραγωγής ξυλομάζας των δασικών συμπλεγμάτων της παρούσας διαχειριστικής κλάσης. Συγκεκριμένα, έχουμε σταθμούς χαμηλής, μέσης και υψηλής παραγωγικότητας, με βιομάζα που ανέρχεται σε 100, 200 και 328κ.μ./ εικονοστοιχείο

αντίστοιχα και ορισμένες περιοχές με μηδενική βλάστηση. Σε αυτές συγκαταλέγονται περιοχές που έχουν υλοτομηθεί ή περιοχές που τα όρια της δασικής κάλυψης έχουν συρρικνωθεί.

Οι μεγάλες ποσότητες ξυλώδους όγκου, αντιστοιχούν σε περιοχές που καταλαμβάνουν δάση μεγάλης ηλικίας, αναφορικά ξεπερνούν τα 200-250 έτη. Οι περιοχές αυτές σύμφωνα με προγενέστερες διαχειριστικές μελέτες, περιελάμβαναν υψηλής παραγωγικότητας συστάδες με ξυλώδη όγκο που έφτανε έως και τα 280 κ.μ. κατά μέσο όρο και ετήσια προσαύξηση που υπολογιζόταν στα 8 κ.μ. έως 10κ.μ. Οι περιοχές αυτές κυρίως λόγω μη εφαρμογής υλοτομιών, έχουν διατηρήσει τα ήδη υψηλά ποσοστά βιομάζας.

4.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΔΡΥΟΣ



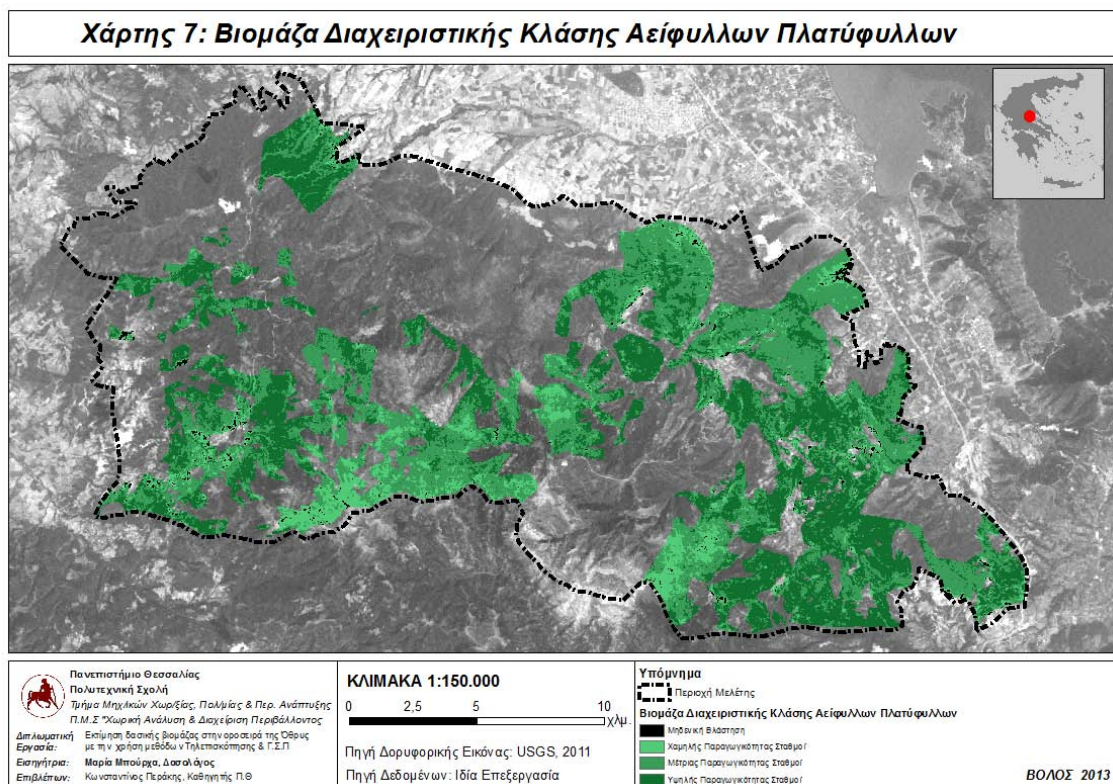
Χάρτης 6: Βιομάζα διαχειριστικής κλάσης Δρυός

Η διαχειριστική κλάση Δρυός καταλαμβάνει περιοχές με υψόμετρο από 600μ. έως 1.200μ.. Ο ξυλώδης όγκος της παρούσας διαχειριστικής κλάσης ανέρχεται σε 135 κ.μ./εικονοστοιχείο και απαντάται εντός του διαχειριζόμενου δάσους Κοκκωτών, κυρίως κοντά στα δασοόρια με την Ελάτη.

Στο χάρτη 6 διακρίνονται 4 ποιοτικοί σταθμοί, αναφορικά με την παραγωγικότητα των εν λόγω οικοσυστημάτων. Ειδικότερα οι 3 βαθμίδες αντιστοιχούν σε σταθμούς χαμηλής, μέσης και υψηλής παραγωγικότητας, με βιομάζα που ανέρχεται σε 50, 100 και 135 κ.μ./ εικονοστοιχείο αντίστοιχα. Ενώ, η τελευταία βαθμίδα αντιστοιχεί σε περιοχές που δεν φέρουν βλάστηση, όπως διάκενα, τεχνητές επιφάνειες και γυμνές επιφάνειες μετά από υλοτόμηση του φυσικού δάσους.

Σύμφωνα με τις διαθέσιμες διαχειριστικές μελέτες των δασικών συμπλεγμάτων Ανάβρας, Κοκκωτών Κωφών και Βρυναίνης, τα συγκεκριμένα δασικά οικοσυστήματα περιελάμβαναν συστάδες με ξυλώδες έμφλοιο όγκο που κυμαινόταν από 88 κ.μ. έως 112 κ.μ. και ετήσια προσαύξηση 2 κ.μ. έως 4 κ.μ. ανά μονάδα επιφάνειας. Οι συγκεκριμένες περιοχές, παράγουν το μεγαλύτερο τμήμα των δασικών προϊόντων που λαμβάνεται από το σύνολο των διαχειριζόμενων δασών. Η υλοτομία τους γίνεται αποψιλωτικά ανά βαθμίδες με αποτέλεσμα τη διατήρηση του συνολικού ξυλώδους όγκου σε σταθερά επίπεδα.

4.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΚΛΑΣΗ ΑΕΙΦΥΛΛΩΝ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ



Χάρτης 7: Βιομάζα διαχειριστικής κλάσης Αείφυλλων Πλατύφυλλων

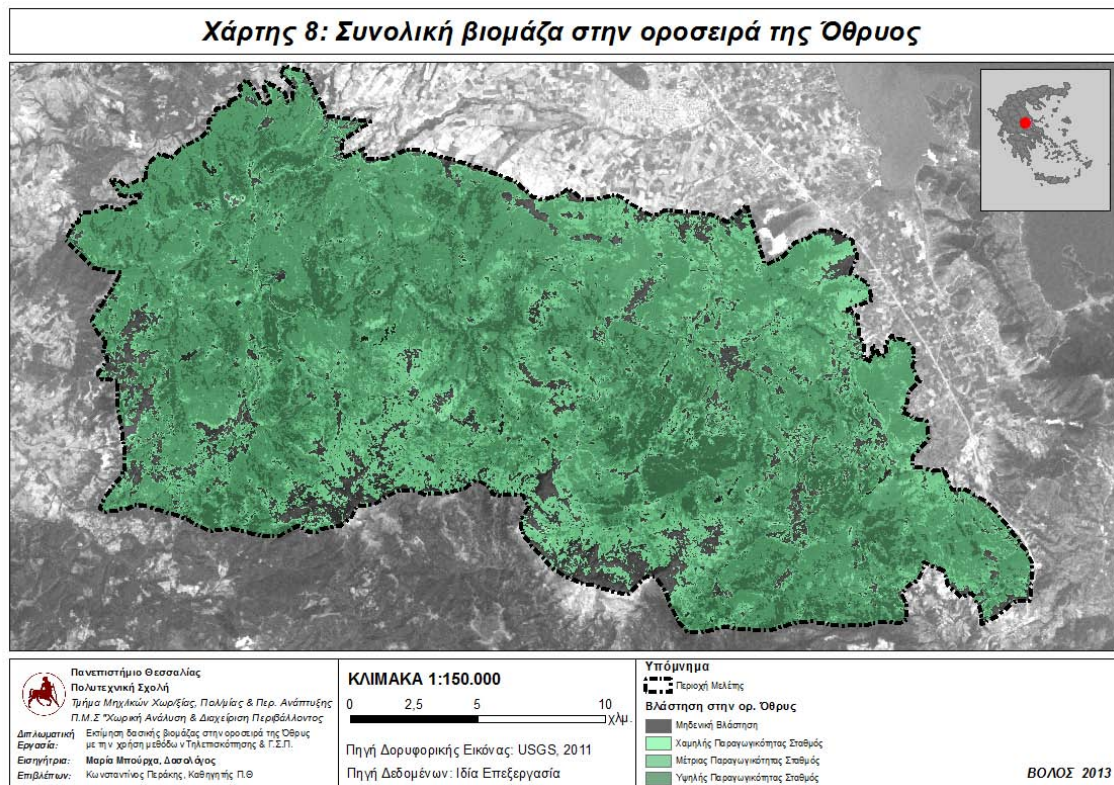
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μεγαλύτερο τμήμα του ορεινού όγκου της Όθρυος καταλαμβάνει η διαχειριστική κλάση των Αείφ. Πλατύφυλλων. Η πλειονότητα τους αποτελείται από εκτενής θαμνώνες σκληροφυλλικής βλάστησης, ορισμένες συνδενδρίες πλατάνων και γλυστοροκουμαριών. Γενικά, η παρούσα διαχειριστική κλάση δημιουργεί ένα επίπεδο σχετικά χαμηλής βλάστησης και πυκνής συγκόμωσης που διακόπτεται από βραχώδεις εξάρσεις. Καταλαμβάνει περιοχές από 0 έως 850 μ. υψόμετρο.

Η βιομάζα της ανέρχεται έως και 41 κ.μ./ εικονοστοιχείο. Ενδεικτικά, ορισμένες περιοχές στις οποίες η συγκεκριμένη βλάστηση παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές, αναφορικά φυσικά με την βιομάζα της, είναι η Βρύναινα, ο Άγιος Βλάσσιος, η Ιερά Μονή Ξενιάς, ο Παλαιός Πλάτανος και η Ανάβρα.

Στο χάρτη 7 που προηγείται, διακρίνονται 4 σταθμοί, ανάλογα με τις ποσότητες βιομάζας που φέρουν. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται ελάχιστες μόνο περιοχές με μηδενική βλάστηση, ενώ οι υπόλοιπες κατανέμονται σε σταθμούς χαμηλής, μέσης και υψηλής παραγωγικότητας, με φυτομάζα που ανέρχεται σε 10, 25 και 40 κ.μ./ εικονοστοιχείο αντίστοιχα.

Οι εν λόγω περιοχές, σύμφωνα με τις διαχειριστικές μελέτες, περιλάμβαναν συστάδες με έμφλοιο ξυλώδη όγκο που ανερχόταν σε 15 κ.μ. έως 30 κ.μ και ετήσια προσαύξηση που έφτανε τα 4 κ.μ. έως 8 κ.μ. ανά εκτάριο. Δέχονται σε έντονο βαθμό την εφαρμογή αποψιλωτικών υλοτομιών, κυρίως ανά βαθμίδες ή λωρίδες. Το ξύλο τους χρησιμοποιείται για την παραγωγή κάρβουνου, αλλά λόγω της σύνθεσης τους από ταχυαυξή είδη, συγκρατούν τη βιομάζα τους σε ικανοποιητικά και σταθερά επίπεδα.

Γενικά, παρατηρούμε πως το σύνολο των δασικών συμπλεγμάτων της οροσειράς Όθρυς, διατηρεί το ξυλαπόθεμα του σε ικανοποιητικά επίπεδα με αυξητικές τάσεις, τόσο σε ώριμες μη διαχειριζόμενες δασικές ενότητες όπως αυτές τις Ελάτης στην περιοχή Γκιούζι, όσο και στις υπόλοιπες περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονη επέμβαση του ανθρώπου είτε με σκοπό τις υλοτομίες και την απόληψη δασικών προϊόντων είτε την εκτροφή μεγάλων ζώων.

4.4 ΟΡΟΣΕΙΡΑ ΟΘΡΥΣ

Χάρτης 8: Συνολική βιομάζα της οροσειράς Όθρυς

Σύμφωνα με το χάρτη 8 που προηγείται, η οροσειρά φέρει στη πλειοψηφία της έκτασης της, φυτική μάζα η οποία ανέρχεται στα 170 κ.μ. ανά εικονοστοιχείο. Και σε αυτή την περίπτωση διακρίνουμε 4 παραγωγικούς σταθμούς, ανάλογα με τη ποσότητα της βιομάζας που είναι αποθηκευμένη στα φυτικά οικοσυστήματα, δασικά και μη, που την απαρτίζουν. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται περιοχές χωρίς ίχνος βλάστησης, κυρίως βραχώδη και άγονα εδάφη, χαμηλής παραγωγικότητας σταθμοί με φυτομάζα που ανέρχεται στα 50 κ.μ., μέτριας παραγωγικότητας σταθμοί με βιομάζα έως 100 κ.μ. και τέλος υψηλής παραγωγικότητας σταθμοί με βλάστηση που κυμαίνεται από 100 έως 170 κ.μ. ανά στοιχείο δορυφορικής εικόνας.

Το εύρος των ποσοτήτων της βιομάζας των φυτικών κοινωνιών της οροσειράς της Όθρυς, είναι σαφέστατα μικρότερο από τις εκτιμήσεις των προηγούμενων θεματικών χαρτών. Παρατηρείται δηλαδή στην παρούσα περίπτωση μια υποεκτίμηση της βιομάζας, γεγονός αναμενόμενο δεδομένου του χαμηλού βαθμού ακρίβειας της γενικής εξίσωσης πρόβλεψης. Ενδεικτικά, η απόκλιση μεταξύ των ανώτερων τιμών εκτίμησης

βιομάζας, είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 160 μονάδες ξυλώδους όγκου ανά εικονοστοιχείο.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι δορυφορικές εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας αποτελούν μια σημαντική πηγή γεωπληροφοριών με πολλαπλές εφαρμογές στα δασικά οικοσυστήματα. Ιδιαίτερα η παραγωγή εξ αυτών, δεικτών βλάστησης και η συσχετίσή τους με επίγειες μετρήσεις βιομάζας, δημιουργούν ένα νέο πολυδιάστατο εργαλείο διαχείρισης και ελέγχου της κατάστασης υγείας των δασικών οικοσυστημάτων.

Μέσω της εφαρμογής που αναλύθηκε εκτεταμένα σε προηγούμενα κεφάλαια ερευνήθηκε η δυνατότητα εκτίμησης της παραγόμενης βιομάζας των δασικών οικοσυστημάτων από φασματικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο που συνδυάζει μεθόδους της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και των προδιαγραφών εκπόνησης διαχειριστικών μελετών. Αυτό το είδος του μοντέλου, αν και πολύ απλό, είναι ένα παράδειγμα της ζεύξεως εξ αποστάσεως μετρήσεων με κλασικά μοντέλα εκτίμησης της φυτικής παραγωγικότητας. Από την εφαρμογή του, αποδείχθηκε ότι η δυνατότητα αυτή δεν είναι μόνο υπαρκτή αλλά επιφέρει και εξαιρετικά αποτελέσματα, τουλάχιστον όσο αφορά την ακρίβεια των εκτιμήσεων του.

Συγκεκριμένα, μετά την διάκριση των ειδών της βλάστησης σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες διαχείρισης και την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, αναδείχθηκε η σημαντικότητα του δείκτη NDVI όσο αφορά την πρόβλεψη των ποσοτήτων της βιομάζας καθώς επίσης και η γραμμική σχέση μεταξύ των 2 μεταβλητών, δηλαδή των φασματικών δεδομένων και των ποσοτήτων της βιομάζας.

Οι εξισώσεις πρόβλεψης που κατασκευάστηκαν, εκτιμούν την βιομάζα με ποσοστό ακρίβειας που αγγίζει το 70% για την διαχειριστική κλάση της Δρυός, το 80% για τα Αείφυλλα Πλατύφυλλα και το 81% για την Ελάτη. Αξιοσημείωτο είναι, πως τα υψηλά ποσοστά πρόβλεψης των δασικών ενοτήτων των Αειφ. Πλατύφυλλων και της Ελάτης οφείλονται κυρίως στον έντονο βαθμό συγκόμωσης των δασικών ενοτήτων που δημιουργούν και στη μορφή κόμης που φέρουν αντίστοιχα. Τα δυο αυτά χαρακτηριστικά εμποδίζουν τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας να φτάσει στο έδαφος, να αντανakλασθεί και να καταγραφεί η επίδραση του εδάφους, μεταβάλλοντας έτσι τη φασματική απόκριση της βλάστησης. Δεδομένου πως οι δείκτες βλάστησης επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το είδος τους εδάφους, την δομή των δασικών συστάδων και από τη μορφή των φύλλων (Darvishzadeh et al, 2008). Επιπλέον, η

εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων, επιτρέπεται στην επιφάνεια που εκτείνεται η κάθε κατηγορία, χωρίς μεγάλη επιρροή από το σύνολο των περιοριστικών παραγόντων του δείκτη NDVI, όπως το τοπογραφικό ανάγλυφο ή ο βαθμός συγκόμωσης των συστάδων.

Καθοριστικός περιοριστικός παράγοντας είναι το δασικό είδος ή ευρύτερα η διαχειριστική κλάση βλάστησης στην οποία εντάσσεται μια επιφάνεια. Ο εν λόγω περιοριστικός παράγοντας, προέκυψε από την ανεπάρκεια του συγκεκριμένου μοντέλου να εκτιμήσει με ικανό βαθμό ακρίβειας το ζητούμενο, θεωρώντας την βλάστηση ως μια οντότητα μη διακριτή. Ο βαθμός ακρίβειας του αγγίζει μόλις το 40%, γεγονός που ανατρέπει τη χρήση του δείκτη NDVI ως ένα ικανοποιητικό εκτιμητή της βιομάζας. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην ανομοιογένεια των δασικών ειδών που συνθέτουν την συνολική βλάστηση, στην επίδραση της ατμόσφαιρας καθώς και σε εξωγενείς παράγοντες, όπως η γωνία το ήλιου, η ανάκλαση του υπόβαθρου, η δομή της κόμης των ιστάμενων δένδρων κ.α. (McDonald et al, 1998).

Φυσικά, η θεώρηση αυτή δεν είναι απόλυτη, μιας και ο ζητούμενος σκοπός μπορεί να είναι εφικτός μέσω χρήσης ενός εναλλακτικού δείκτη βλάστησης, ο οποίος να μην γνωρίζει περιορισμούς όπως η ανομοιογένεια της βλάστησης. Ταυτόχρονα, μπορεί η ζητούμενη ακρίβεια να βελτιωθεί, αυξάνοντας των αριθμό των επίγειων μετρήσεων ή με τη λήψη δορυφορικών εικόνων σε εναλλακτικές χρονικές στιγμές και εποχές.

Σε γενικά πλαίσια ωστόσο, η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να αντικαταστήσει ή να συμπληρώσει τις σημερινές μεθόδους εκτίμησης της δασικής βιομάζας δεδομένου ότι αποτελεί ένα γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο εκτίμησης βιομάζας δέντρων, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι, εξειδικευμένο προσωπικό και μεγάλα χρονικά περιθώρια για συστηματικές δειγματοληψίες. Παράλληλα, είναι μια μέθοδος, που ακολουθεί τη θεώρηση της αειφορικής διαχείρισης, καθώς εξορισμού δεν αποτελεί μια καταστρεπτική μέθοδο εκτίμησης, όπως αυτές που έχουν αναφερθεί σε προγενέστερο κεφάλαιο.

Επιπροσθέτως, μπορεί να αποτελέσει ένα κατάλληλο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων με σκοπό την αειφορική διαχείριση και προστασία ενός οικοσυστήματος. Συγκεκριμένα, μέσω της εκτίμησης της βιομάζας, προσφέρει τη δυνατότητα ελέγχου του δυναμικού παραγωγής των συστάδων, του ποσού του ξυλώδους όγκου που μπορεί να αφαιρεθεί ως λήμμα, καθώς και την απότομη μεταβολή της βιομάζας ως αποτέλεσμα

λαθροϋλοτομιών ή πυρκαγιών. Επιπλέον, ο δείκτης βλάστησης, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, αποτελεί έναν ικανοποιητικό δείκτη της κατάστασης υγείας μιας δασικής συστάδας. Με τη χρήση μιας σειράς δορυφορικών εικόνων διαφορετικών ετών μπορεί ο οποιοσδήποτε μελετητής να παρατηρήσει τυχόν αλλαγές στις τιμές του δείκτη, ένδειξη μιας πρωτογενούς ή δευτερογενούς προσβολής ιστάμενων δένδρων ή ολόκληρων συστάδων και να προχωρήσει σε λήψη καθοριστικών μέτρων για την προστασία τους.

Τέλος, το συγκεκριμένο μοντέλο, σε συνδυασμό με τις σύγχρονες πρακτικές δασοκομίας, προσφέρει την δυνατότητα διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων με έναν πιο ολιστικό τρόπο. Μέσω της καταγραφής των παραγωγικών δασικών τμημάτων, μπορεί να ληφθούν αποφάσεις για τη λήψη μέτρων πυροπροστασίας σε περιοχές που το έχουν ανάγκη, για τη χάραξη αντιπυρικών ζωνών, για τη βελτίωση του αδρομερούς οδικού δικτύου μέσω χάραξης νέων συλλεκτήριων οδών. Ενώ ταυτόχρονα μπορεί να παράξει πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν ως πρωτογενή δεδομένα σε μια εφαρμογή εκτίμησης της καύσιμης ύλης και των ποσοτήτων CO₂ που θα επιστρέψουν στην ατμόσφαιρα μετά τη διατάραξη των δασικών οικοσυστημάτων από πυρκαγιά.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε μια ανάλογη εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου σε επίπεδο χώρας, όπου θα ήταν δυνατή η παραγωγή εκτιμητικών μοντέλων ευρείας εφαρμογής και όχι τοπικής όπως τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν. Η συγκεκριμένη ενέργεια θα προσέδιδε την δυνατότητα σε μελετητές και διαχειριστές των δασικών οικοσυστημάτων για μια ολιστική προσέγγιση του τόσο σημαντικού όσο και διαχρονικού θέματος προστασίας του περιβάλλοντος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΝΤΥΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

- Τμήματος.....
- Υπομήματος.....

Α' ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- | | | |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1) Αριθμός Δ.Ε. | 6) Εκθεση : | 10) Στάδιο εξέλιξης:..... |
| 2) Μέγεθος Δ.Ε. | 7) Κλίση : | 11) Ποιότητα τύπου:..... |
| 3) Ημερ. απογραφής:..... | 8) Βαθμ. συγκόμ.:..... | 12) Ανώτερο ύψος:..... |
| 4) Δασοπονική μορφή..... | 9) Υψόμετρο:..... | 13) Ηλικία:..... |
| 5) Διαχειριστική μορφή..... | | 14) Βαθ, ξυλοβρίθ. ΒΞ:..... |

| Β' ΠΑΧΥΜΕΤΡΗΣΗ | | | | Γ' ΔΟΚΙΜ. ΠΡΟΣΗΜΑΝΣΗ | | Δ' ΔΟΚΙΜ. ΚΟΡΜΟΙ | | | | | |
|----------------|----------------|----------|--|----------------------|----------|------------------|-------|------|----------|-----------|--------|
| D | Αριθμός κορμών | | | Αριθμός κορμών | | D | Διπμ. | Υψος | Π. Φύλλω | Ξύλα Δοκτ | Ηλικία |
| | Δ. Πεύκη | Ερυθρελ. | | Δ. Πεύκη | Ερυθρελ. | | | | | | |
| 10 | | | | | | d1 | | | | | |
| 12 | | | | | | d2 | | | | | |
| 14 | | | | | | d3 | | | | | |
| 16 | | | | | | d4 | | | | | |
| 18 | | | | | | d5 | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | | | | | | | |
| 38 | | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | | | |
| 42 | | | | | | | | | | | |
| 44 | | | | | | | | | | | |
| 46 | | | | | | | | | | | |
| 48 | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | |
| ΣN | | | | | | | | | | | |

ΟΓΚΟΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΡΕΛΑΣΚΟΠΙΟ

Μορφούψος Fh $\Phi V = g \cdot Fh$

$\Phi Fh = \frac{2}{3} \cdot L' \cdot d_{1,2}^*$ $*d_{1,2}$ σε m

Σχετικός υψομορφάριθμος L' ή Fh_{1,20}

$\Phi Fh_{1,2} = L' = A - (-E)**$

** ανάγνωση από την στήλη 25m

| Ε' ΔΑΣΟΚΟΜΙΚΑ ΜΕΤΡΑ | |
|---------------------|--|
| α. Καλλιεργητικά | |
| Νεοφυτεία | |
| Πυκνοφυτεία | |
| Εξωγ. αραιώσεις | |
| Υπεραραιώσεις | |
| β. Αναγεννητικά | |
| Προπαρασκ. υλοτ. | |
| υλοτομ. σποράς | |
| φωτοδόπηδες | |
| τελική | |
| γ. Κηπεύσεις | |

ΣΤ' ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Αναγέννηση _____

2. Άλλες πληροφορίες _____

Στάδια εξέλιξης: Νεοφυτεία d_{1,2}
 Πυκνοφυτεία d_{1,2} ≤ 8-10 cm
 Κορμίδια d_{1,2} ≤ 20 cm
 Κορμοί d_{1,2} ≥ 22 cm

Θέση.....
 Τμήμα..... Συστάδα.....
 Δασοπ. είδος.....

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

| Κλ. βαθμ. δασμ. | Έμφ. σπηθ. διάμ. (cm) | Της δοκιμαστικής επιφάνειας | | | | | | Των εκλεγμένων δοκιμαστικών | | |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---------------------------------|---------------|
| | | Αριθμός κορμών (N) | | Κυκλική επιφάνεια (G) (M ²) | | Υπολογ. δοκιμαστικών κορμών G/N (M ²) | | Έμφλοια κυκλική επιφάνεια (g 1,3) (M ²) | Έμφλοια σπηθιαία διάμετρος (cm) | Μορφοόψος (m) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| I | | ΔΠ | | ΔΠ | | ΔΠ | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | |
| | Σύνολο | | | | | | | | | |
| II | 22 | | | | | | | | | |
| | 24 | | | | | | | | | |
| | 26 | | | | | | | | | |
| | 28 | | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | | |
| | 32 | | | | | | | | | |
| | 34 | | | | | | | | | |
| | Σύνολο | | | | | | | | | |
| III | 36 | | | | | | | | | |
| | 38 | | | | | | | | | |
| | 40 | | | | | | | | | |
| | 42 | | | | | | | | | |
| | 44 | | | | | | | | | |
| | 46 | | | | | | | | | |
| | 48 | | | | | | | | | |
| | Σύνολο | | | | | | | | | |
| IV | 50 | | | | | | | | | |
| | 52 | | | | | | | | | |
| | 54 | | | | | | | | | |
| | 56 | | | | | | | | | |
| | 58 | | | | | | | | | |
| | 60 | | | | | | | | | |
| | 62 | | | | | | | | | |
| | 64 | | | | | | | | | |
| 66 | | | | | | | | | | |
| Σύνολο | | | | | | | | | | |
| Γ. Σύνολο | | | | | | | | | | |
| ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | |
| II | | | | | | | | | | |
| III | | | | | | | | | | |
| IV | | | | | | | | | | |
| Σύνολο | | | | | | | | | | |

ΠΙΝΑΚΑΣ 1ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΕ Μ2

| <u>διαμ.</u> | <u>0,0</u> | <u>0,1</u> | <u>0,2</u> | <u>0,3</u> | <u>0,4</u> | <u>0,5</u> | <u>0,6</u> | <u>0,7</u> | <u>0,8</u> | <u>0,9</u> |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 9 | .0064 | .0065 | .0066 | .0068 | .0069 | .0071 | .0072 | .0074 | .0075 | .0077 |
| 10 | .0079 | .0080 | .0082 | .0083 | .0085 | .0087 | .0088 | .0090 | .0092 | .0093 |
| 11 | .0095 | .0098 | .0099 | .0100 | .0102 | .0104 | .0106 | .0108 | .0109 | .0111 |
| 12 | .0113 | .0115 | .0117 | .0119 | .0121 | .0123 | .0125 | .0127 | .0129 | .0130 |
| 13 | .0133 | .0135 | .0137 | .0139 | .0141 | .0143 | .0146 | .0147 | .0149 | .0152 |
| 14 | .0154 | .0156 | .0158 | .0161 | .0163 | .0165 | .0167 | .0170 | .0172 | .0174 |
| 15 | .0177 | .0179 | .0181 | .0184 | .0186 | .0188 | .0191 | .0194 | .0196 | .0198 |
| 16 | .0201 | .0204 | .0206 | .0209 | .0211 | .0214 | .0216 | .0219 | .0222 | .0224 |
| 17 | .0228 | .0230 | .0232 | .0235 | .0238 | .0240 | .0243 | .0246 | .0249 | .0252 |
| 18 | .0254 | .0257 | .0260 | .0263 | .0266 | .0269 | .0272 | .0275 | .0277 | .0280 |
| 19 | .0284 | .0287 | .0290 | .0292 | .0296 | .0299 | .0302 | .0305 | .0308 | .0311 |
| 20 | .0314 | .0317 | .0320 | .0324 | .0327 | .0330 | .0333 | .0336 | .0360 | .0343 |
| 21 | .0346 | .0350 | .0353 | .0356 | .0360 | .0363 | .0366 | .0370 | .0375 | .0376 |
| 22 | .0380 | .0384 | .0387 | .0390 | .0394 | .0398 | .0401 | .0405 | .0408 | .0411 |
| 23 | .0415 | .0419 | .0423 | .0426 | .0430 | .0434 | .0437 | .0441 | .0445 | .0448 |
| 24 | .0452 | .0456 | .0460 | .0464 | .0468 | .0471 | .0475 | .0479 | .0483 | .0486 |
| 25 | .0491 | .0495 | .0499 | .0503 | .0507 | .0511 | .0515 | .0519 | .0523 | .0526 |
| 26 | .0531 | .0535 | .0539 | .0543 | .0547 | .0552 | .0556 | .0560 | .0565 | .0568 |
| 27 | .0573 | .0577 | .0581 | .0585 | .0590 | .0594 | .0598 | .0603 | .0607 | .0611 |
| 28 | .0616 | .0620 | .0625 | .0629 | .0633 | .0638 | .0642 | .0647 | .0651 | .0655 |
| 29 | .0660 | .0665 | .0670 | .0674 | .0679 | .0683 | .0688 | .0693 | .0697 | .0702 |
| 30 | .0706 | .0711 | .0716 | .0721 | .0725 | .0730 | .0735 | .0740 | .0745 | .0749 |
| 31 | .0754 | .0759 | .0764 | .0769 | .0774 | .0779 | .0784 | .0789 | .0794 | .0790 |
| 32 | .0804 | .0809 | .0814 | .0819 | .0824 | .0829 | .0834 | .0839 | .0844 | .0850 |
| 33 | .0855 | .0860 | .0865 | .0870 | .0876 | .0881 | .0886 | .0891 | .0897 | .0902 |
| 34 | .0907 | .0913 | .0918 | .0924 | .0926 | .0934 | .0940 | .0945 | .0951 | .0956 |

| Στοιχ. | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 35 | .0962 | .0967 | .0973 | .0978 | .0984 | .0989 | .0995 | .1001 | .1006 | .1012 |
| 36 | .1017 | .1023 | .1029 | .1034 | .1040 | .1046 | .1052 | .1057 | .1063 | .1069 |
| 37 | .1075 | .1081 | .1086 | .1092 | .1098 | .1104 | .1110 | .1116 | .1122 | .1128 |
| 38 | .1134 | .1140 | .1146 | .1152 | .1158 | .1164 | .1170 | .1176 | .1182 | .1188 |
| 39 | .1194 | .1200 | .1206 | .1213 | .1219 | .1225 | .1231 | .1234 | .1240 | .1250 |
| 40 | .1256 | .1262 | .1269 | .1275 | .1281 | .1288 | .1294 | .1301 | .1307 | .1313 |
| 41 | .1320 | .1326 | .1333 | .1339 | .1346 | .1352 | .1359 | .1365 | .1372 | .1378 |
| 42 | .1385 | .1392 | .1398 | .1405 | .1412 | .1418 | .1425 | .1432 | .1438 | .1445 |
| 43 | .1452 | .1459 | .1465 | .1472 | .1479 | .1485 | .1493 | .1499 | .1506 | .1513 |
| 44 | .1520 | .1527 | .1534 | .1541 | .1548 | .1555 | .1562 | .1569 | .1576 | .1583 |
| 45 | .1590 | .1597 | .1604 | .1611 | .1618 | .1626 | .1633 | .1640 | .1647 | .1654 |
| 46 | .1661 | .1669 | .1676 | .1683 | .1690 | .1698 | .1705 | .1712 | .1720 | .1727 |
| 47 | .1734 | .1742 | .1749 | .1757 | .1764 | .1772 | .1779 | .1787 | .1794 | .1802 |
| 48 | .1809 | .1817 | .1824 | .1832 | .1839 | .1847 | .1855 | .1862 | .1870 | .1875 |
| 49 | .1885 | .1893 | .1901 | .1908 | .1916 | .1924 | .1932 | .1940 | .1947 | .1955 |
| 50 | .1963 | .1971 | .1979 | .1987 | .1995 | .2003 | .2010 | .2018 | .2026 | .2034 |
| 51 | .2042 | .2050 | .2058 | .2066 | .2075 | .2083 | .2091 | .2099 | .2107 | .2115 |
| 52 | .2123 | .2131 | .2140 | .2148 | .2158 | .2164 | .2173 | .2181 | .2189 | .2197 |
| 53 | .2205 | .2214 | .2222 | .2230 | .2239 | .2248 | .2256 | .2264 | .2273 | .2281 |
| 54 | .2290 | .2298 | .2307 | .2315 | .2324 | .2332 | .2341 | .2350 | .2358 | .2364 |
| 55 | .2375 | .2384 | .2393 | .2401 | .2410 | .2418 | .2427 | .2436 | .2445 | .2453 |
| 56 | .2463 | .2471 | .2480 | .2489 | .2498 | .2507 | .2516 | .2525 | .2533 | .2541 |
| 57 | .2551 | .2560 | .2569 | .2578 | .2587 | .2596 | .2605 | .2614 | .2623 | .2632 |
| 58 | .2642 | .2651 | .2660 | .2669 | .2678 | .2687 | .2697 | .2706 | .2715 | .2724 |
| 59 | .2734 | .2743 | .2752 | .2761 | .2771 | .2780 | .2789 | .2799 | .2808 | .2818 |
| 60 | .2827 | | | | | .2874 | | | | |
| 61 | .2922 | | | | | .2970 | | | | |
| 62 | .3019 | | | | | .3068 | | | | |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αθανασιάδης, Ν. (1985) *Δασική Φυτοκοινωνιολογία*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη

Αθανασιάδης, Ν. (1986) *Δασική Βοτανική (Δένδρα και Θάμνοι των Δασών της Ελλάδος)*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γιαχούδη

Γεωτ.Ε.Ε., (2009) *Πρότυπες τεχνικές προδιαγραφές εκπόνησης διαχειριστικών σχεδίων δασικών οικοσυστημάτων*, διαθέσιμο σε: <http://ediaxiristiki.files.wordpress.com/2011/03/protipes-technikes-prodiagrafes-ekponisis-diachiristikwn-sxediwn2.pdf> [πρόσβαση 13 Μαΐου 2013]

Δασικός Κώδικας Ν.Δ. 86/69 (ΦΕΚ Α'7)

Διαχειριστικές μελέτες των δημοτικών δασών Ανάβρας, Βρυναίνης, Κοκκωτών, Κωφών

Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών (ΕΘΙΑΓΕ), Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής, *Μαζοπίνακες δασικών ειδών και εξισώσεων υψομορφαρίθμου*, Λάρισα

Καρτάλης, Κ. και Φείδας, Χ. (2006) *Αρχές και εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης*, Αθήνα, Β. Γκιούδας Εκδοτική

Μάκρας, Α. (2007) *Εκτίμηση της βιομάζας δασικών συστάδων με τη χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών*, διαθέσιμο σε: <http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/19200#page/1/mode/2up> [επίσκεψη 11 Ιουνίου 2013]

Μάτης, Κ. Γ. (1994) *Δασική Βιομετρία II. Δενδρομετρία*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γ. Δεδούσης

Μάτης, Κ. Γ. (2003) *Δασική Βιομετρία - I. Στατιστική*, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Πήγασος

Μερτίκας, Σ. Π. (2006) *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*, Αθήνα, Εκδόσεις "ΙΩΝ" Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε.

Περάκης, Κ. και Συλλαίος, Ν. (1997) "Δείκτες Βλάστησης και η σημασία τους στην εκτίμηση των ζημιών των γεωργικών καλλιεργειών", στη διημερίδα: Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών και μεθόδων στις Ελληνικές γεωργικές ασφαλίσεις (ΕΛΓΑ). Η πρόκληση του 2000, 31 Μαρτίου - 1 Απριλίου 1997, Θεσσαλονίκη

Περάκης, Κ. (1999) "Εφαρμογή μεθόδου εντοπισμού των διαχρονικών αλλαγών στο πολεοδομικό συγκρότημα του Βόλου με τη χρήση της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης", σε Οικονόμου, Δ. και Πετράκος, Γ. *Διεπιστημονικές προσεγγίσεις αστικής ανάλυσης και πολιτικής*, Βόλος, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας - Gutenberg, σελ 397-409

Ρούσου, Ο. Ν. (2009) *Χαρτογράφηση και Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση Καύσιμης Ύλης για Διαχείριση Πυρκαγιών με Χρήση Δορυφορικών Εικόνων Υψηλής Ανάλυσης και Εργαλείων Γεωπληροφορικής*, διαθέσιμο σε: <http://www.scribd.com/doc/22585116/Rousou-Xartografisi-Kafsimis-Ilis>, [πρόσβαση 05 Μαΐου 2012]

Στότη, Π. Δ. (2012) *Εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Τηλεπισκόπηση) στη μελέτη της οικολογικής διαδοχής καμένων οικοσυστημάτων του Νομού Ηλείας*, διαθέσιμο σε: http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5335/3/Nimertis_Stoti%28bio%29.pdf2012, [πρόσβαση 13 Ιουνίου 2012]

B. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bannari, A., Morin, D., and Bonn, F. (1995) "A review of vegetation indices", *Remote Sensing Reviews*, (13), pp. 95-120

Basso, B., Cammarano, D. and De Vita, P. (2004) "Remotely sensed vegetation indices: Theory and application for crop management", *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, (1), pp. 36-53

Bautista. A. A. L. (2012) *Biomass/carbon estimation and mapping in the subtropical forest of Chitwan, Nepal: A comparison between VHR GeoEye satellite images and airborne LIDAR data*, available from: http://www.itc.nl/library/papers_2012/msc/nrm/lopezbautista.pdf [accessed: 11 June 2013]

- Buttner, G., Feranec, J., Jaffrain, G., Mari, L., Maucha, G. and Soukup, T. (2004) *The corine land cover 2000 project*, available from: http://las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/vol03_3/03_3_buttner2.pdf [accessed: 3 January 2013]
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Atzberger, C. and Van Wieren, S. (2008), "Estimation of vegetation LAI from hyperspectral reflectance data: Effects of soil type and plant architecture", *International journal of applied earth observation and geoinformation*, (10), pp. 358-373
- Goward, S. N., Masek, J. G., Williams, D. L., Irons, J. R. and Thompson, R. J. (2001) "The Landsat 7 mission terrestrial research and applications for the 21st century", *Remote sensing of environment*, (78), pp. 3-12
- Guyot, G. (1983) "Main conclusions of the international colloquium on spectral signatures of objects in remote sensing", *Advances in space research*, (3), pp. 239-245
- Jackson, R. D. and Huete, A. R. (1991) "Interpreting vegetation indices", *Preventive Veterinary Medicine*, (11), pp. 185-200
- Kale, M. P., Singh, S. and Roy, P. S. (2002) "Biomass and productivity estimation using aerospace data and Geographic Information System", *Tropical ecology*, (43), pp. 123-136
- Keuchel, J., Naumann, S., Heiler, M. and Siegmund, A. (2003) "Automatic land cover analysis for Tenerife by supervised classification using remotely sensed data", *Remote sensing of environment*, (86), pp. 530-541
- Kokaly, R. F., Despain, D. G., Clark, R. N. and Livo, K. E. (2007) "Spectral analysis of absorption features for mapping vegetation cover and microbial communities in Yellowstone National Park using AVIRIS data" in Morgan, A. L. *Integrated Geoscience Studies in the greater Yellowstone area - Volcanic, Tectonic and Hydrothermal Processes in the Yellowstone ecosystem*, Virginia, U.S. Geological Survey, pp. 463-482
- Loague, K. and Corwin, D. L. (1998), "Regional - scale assessment of non - point source groundwater contamination", *Hydrological processes*, (12), pp. 957-965

- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W. (2005), "Geographic Information Systems and Science", England, John Wiley & Sons Ltd
- Maguire, D. J., Goodchild, M. and Rhinds, D. (1991), "An overview and definition of GIS", in Longley, P. A, Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W. *Geographic Information Systems and Science*, England, John Wiley & Sons, pp. 9-20.
- Mani, S. and Parthasarathy, N. (2007) "Above-ground biomass estimation in ten tropical dry evergreen forest sites of peninsular India", *Biomass and Bioenergy*, (31), pp. 284-290
- McDonald, A. J., Gemmell, F. M. and Lewis, P. E. (1998) "Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on Coniferous forests", *Remote Sensing of Environment*, (66), pp. 250-272
- Merry, C. J. and Stockman, S. (2001) "Educational outreach activities for Landsat 7", *Remote sensing of environment*, (78), pp. 217-220
- Mingdong, M., Hong, J., Shirong, L., Chunquan, Z., Yuejian, L. and Jinxi, W. (2006) "Estimation of forest-ecosystem site index using remote-sensed data", *Acta ecologica sinica*, (26), pp. 2810-2816
- Nath, S. S., Bolte, J. P., Ross L. G. and Aguilar - Manjarrez J. (1999) "Applications of Geographical Information Systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture", *Aquacultural Engineering*, (23), pp. 233-278
- Olsen, R. C. (2007) *Remote sensing from air and space*, Washington, SPIE Press
- Perakis, K., Kyrimis, K. and Kungolos, A. (2000) "Monitoring land cover change detection with remote sensing methods in Magnesia prefecture in Greece", *Fresenius Environmental Bulletin*, (9), pp. 659-669
- Pinter, P. J. Jr., Kelly, H. L. Jr. and Schnell, S. (1987) "Spectral estimation of alfalfa biomass under conditions of variable cloud cover", presented in 18th Conference on Agricultural and Forest Meteorology and 8th Conference on Biometeorology and Aerobiology, 14-18 Sept. 1987, Boston

Rees, W. G. (2001) *Physical principles of remote sensing*, 2nd ed, United Kingdom, Cambridge University Press

Reynolds, H. (1997) *An Introduction to Geographical Information Systems (GIS)*, available from http://www.badpets.net/IntroGIS/GIS_Intro.pdf [accessed: 13 May 2013]

Roy, P. S. and A Ravan, S. (1996) "Biomass estimation using satellite remote sensing data - An investigation on possible approaches for natural forest", *Journal of Biosciences*, (21), pp. 535-561

Silleos, N. G., Aleksandridis, T. K., Gitas, I. Z. and Perakis K. (2006) "Vegetation Indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years", *Geocarto International*, (21), pp. 21-28

Tanriverdi, C. (2006) "A review of remote sensing and vegetation indices in precision farming", *Journal of Science and Engineering*, (9), pp. 69-76

Vieira, S. M. (2010) "Cohen's Kappa coefficient as a performance measure for feature selection", paper presented in World Congress on Computational Intelligence IEEE, 18-23 July 2010, Barcelona, Spain

Vikesh, K., Vinod, K. and Kamal, J. (2010) "Development of spectral signatures and classification of sugarcane", *International Journal of Computer Science & Communication*, 1, pp 245-251

Zheng, D., Rademacher, J., Chen, J., Crow, T., Breese, M., Le Moine, J. and Ryu, S. R., "Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in Northern Wisconsin, USA", *Remote sensing of environment*, (93), pp. 402-411

C. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Ελληνική Ορνιθολογική εταιρία, (2013), διαθέσιμο σε: http://ornithologiki.gr/page_iba.php?aID=102, [πρόσβαση 02 Απριλίου 2013]

Εν Δράσει, (2013), διαθέσιμο σε: <http://endrasei.gr>, [πρόσβαση 14 Μαρτίου 2013]

Εργαστήριο Δενδρομετρίας, τμήμα Δασοπονίας και διαχείρισης φυσικού περιβάλλοντος, Δράμα, (2013), διαθέσιμο σε: <https://09f2ac78-a-62cb3a1a-s->

sites.google.com/site/dasikibiometria/ii/Home/db_ii_arxeia/DB_II_E09b_02.pdf?attachauth=ANoY7cpaNa2ywPB-e9EVEz6Qe3_sbwRMzmBdlNwD1NndIYTIBYWXxQPxLBmnvrL5BKbYv49vzX4geTlbPPJqzfoEVz67uHuzzGtK7mj_a1wEBzPeAEVP3qps3RCWSJ3ODuaWpi8_xdhfuf3lBVmZx0QlrmYm1WW32ODbJJ2tCftmJdECwQHaQ9oiXMGdfVvPmQjHPHO4ByLNaP_Rsio9VyPeV3-y29jc88YAeJddF04M3G19S3fr_m_gxnN_496zRmj57otOTnvlN&attredirects=0, [πρόσβαση 25 Απριλίου 2013]

Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστημίου Καλιφόρνιας, (2013), διαθέσιμο σε: www.geog.ucsb.edu, [πρόσβαση 15 Μαΐου 2013]

ENVI user guide, (2013), διαθέσιμο σε: http://geol.hu/data/online_help/Vegetation_Indices.html, [πρόσβαση 20 Μαΐου 2013]

Mathbit. com, (2013), διαθέσιμο σε: <http://mathbits.com/MathBits/TISection/Statistics2/correlation.html> [πρόσβαση 13 Ιουνίου 2013]

NASA, (2013), διαθέσιμο σε: : <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/etm+.html>, [πρόσβαση 11 Μαΐου 2013]

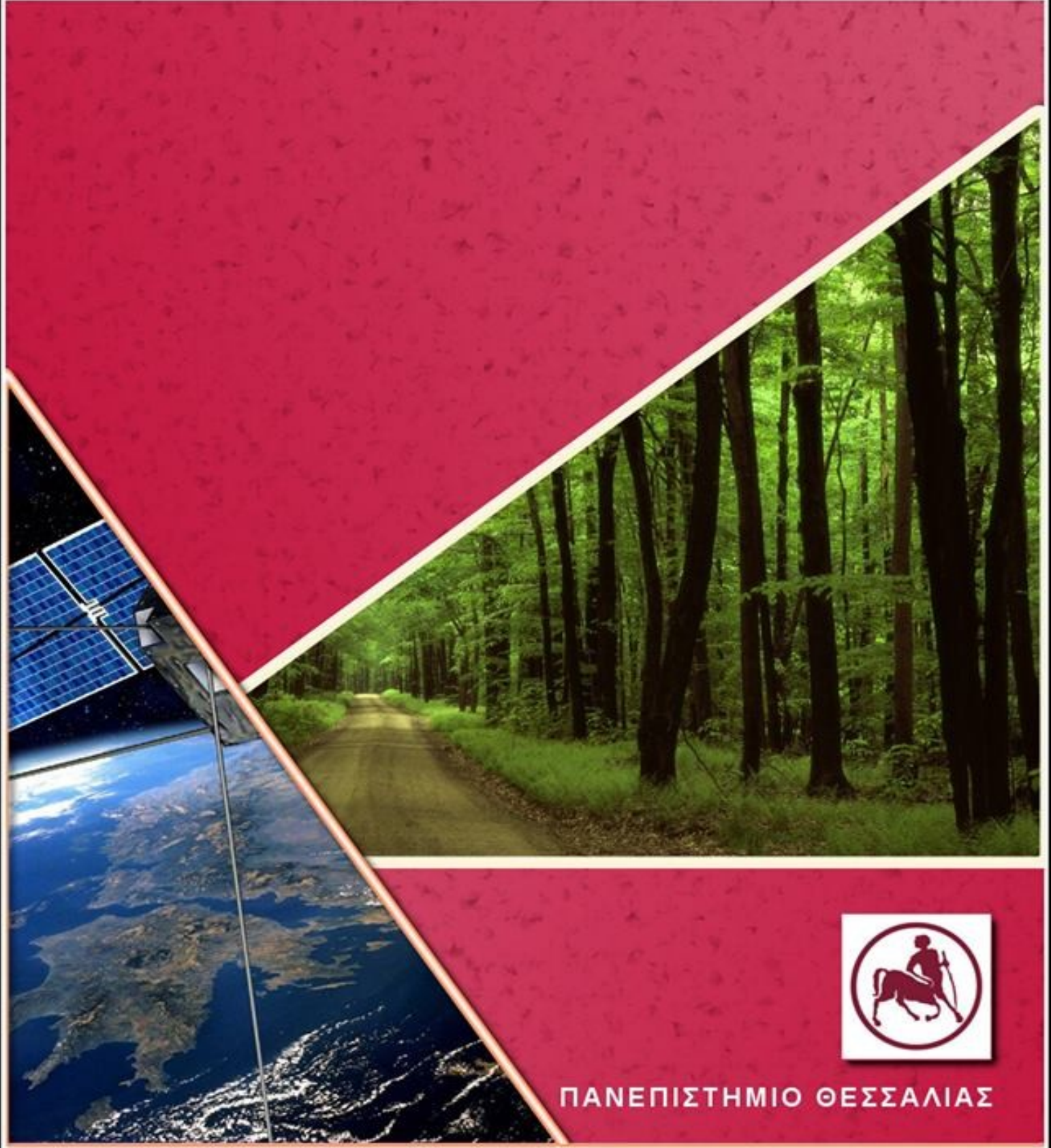
USGS, (2013), διαθέσιμο σε: <http://www.usgs.gov/pubprod/>, [πρόσβαση 10 Μαΐου 2012]

Wikipedia.org, (2013) Α, διαθέσιμο σε: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CF%80>, [πρόσβαση 13 Ιουνίου 2013]

Wikipedia.org, (2013) Β, διαθέσιμο σε: http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Remote_model.jpg, [πρόσβαση 19 Μαρτίου 2013]

Wikipedia.org, (2013) Γ, διαθέσιμο σε: http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Land_Project, [πρόσβαση 23 Μαρτίου 2013]

Wikipedia.org, (2013) Δ, διαθέσιμο σε: http://en.wikipedia.org/wiki/Landsat_7, [πρόσβαση: 14 Απριλίου 2013]



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

2013